

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2020

Bc. Luděk Wolf

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Zkušební stand pro zkoušky nevýbušných svítidel

Test stand for testing ex-proof lights

Student:

Bc. Luděk Wolf

Osobní číslo:

WOL0038

Vedoucí diplomové práce:

Dr. Ing. Miroslav Bova

Ostrava 2020

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Luděk Wolf**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T043 Hydraulika a pneumatika
Téma: **Zkušební stand pro zkoušky nevýbušných svítidel**
Test Stand for Testing Ex-proof Lights
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte technickou řešerši (přehled řešení) obdobných zařízení.
2. Vybrané řešení zkontrolujte pevnostními výpočty a proveďte výpočet silových a kinematických poměrů.
3. Vybrané technické řešení zpracujte v práci ve formě projektu.
4. Nakreslete výrobní dokumentaci použitých hydraulických válců.
5. Proveďte tepelný výpočet hydraulického obvodu.
6. Zpracujte zadání pro navazující profese (elektro a řízení).
7. Zpracujte návod na obsluhu a údržbu zařízení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] SIVÁK, V. *Projektování hydraulických systémů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1990. 333 s. ISBN 80-7078-037-1
- [2] PIVOŇKA, J. a kol. *Tekutinové mechanismy*. Praha: SNTL, 1987. 623 s.
- [3] KOPÁČEK, J. *Hydrostatické převodové mechanismy*. Praha: SNTL, 1986. 272 s.
- [4] PAVLOK, B., HRUŽÍK, L., BOVA, M. *Hydraulická zařízení strojů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. 116 s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

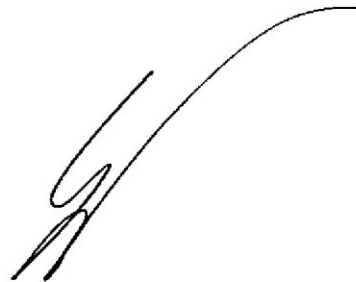
Vedoucí diplomové práce: **Dr. Ing. Miroslav Bova**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



doc. Dr. Ing. Lumír Hružík
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil interní údaje o společnosti Interfluid s.r.o., která s jejich zveřejněním souhlasí.

V Ostravě dne 18. května 2020



.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby

V Ostravě dne 18. května 2020



.....
Podpis autora práce

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

WOLF, L. *Zkušební stand pro zkoušky nevýbušných svítidel*: diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydrauliky a hydromechaniky, 2020, 50 s. Vedoucí práce: Bova, M.

Diplomová práce se zabývá návrhem projektu zkušebního zařízení pro tlakové zkoušky nevýbušných svítidel do prostředí s nebezpečím výbuchu. Na základě poznatku obdobných zkušebních zařízení a jejich požadovaných parametrů je navržen stand zkušebního zařízení pro tři základní typy nevýbušných svítidel rozlišujících se velikostí a tvarem, s automatizovaným průběhem zkušebního cyklu na základě požadavků budoucího provozovatele. Teoretická část na začátku práce seznamuje s obdobnými zařízeními a zkušebními svítilny, v následující praktické části pak samotný návrh zkušebního zařízení. V přílohách je dodána projektová dokumentace a podklady pro navazující profese.

KLÍČOVÁ SLOVA

hydraulika, čerpadlo, zkoušení, svítidlo, tlakování

ANNOTATION OF MASTER THESIS

WOLF, L. *Test stand for testing ex-proof lights: Master Thesis*. Ostrava: VŠB –Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Equipment, 2020, 50 p. Thesis head: Bova, M.

The master thesis deals with designing project of test device for testing ex-proof lights being used in non-explosive environments. Based of knowledge of similar test devices and their parameters required, a testing stand is designed to testing three kinds of lamps differed in size and shape. A test cycle is automated according to requirements of the future operator. There is an introduction to similar devices and kinds of tested lamps in a theoretical part, followed by designing itself in a practical part. An attachment provides project documentation and materials for related professions.

KEYWORDS

hydraulics, pump, testing, light, pressurization

Obsah

1	Seznam použitých zkratk a symbolů	5
2	Úvod	7
3	Přehled řešení obdobných zařízení pro tlakové zkoušky	7
4	ATEX	13
5	Zkoušená tělesa	14
5.1	Svítlidlo Miniminex LED	15
5.2	Svítlidlo Orion	16
5.3	Svítlidlo Herkules	17
5.4	Pomocné přípravky pro zkoušení	18
6	Upřesnění zadání	19
6.1	Dodané procedury s kritickými hodnotami	20
6.2	Časový průběh zkušebního cyklu	21
6.3	Předběžný komplexní návrh zkušebního zařízení	21
7	Návrh hydraulického systému	23
7.1	Hydraulický válec	23
7.1.1	Samosvornost pohybového šroubu	24
7.2	Návrh pohonu	25
7.3	Volba nádrže a chlazení	27
7.4	Volba ostatních prvků	30
8	Návrh vodního systému	32
8.1	Volba hydrogenerátoru	32
8.2	Volba multiplikátoru	32
8.3	Volba nádrže	34
8.4	Ostatní prvky	35
8.4.1	Snímač odtoku kapaliny	35
8.4.2	Pneumaticky řízený jehlový ventil	35
8.4.3	Vysokotlaký filtr	35
9	Návrh pneumatického systému	36
9.1	Jednotka pro úpravu vzduchu	36
9.2	Řídící rozváděče	37
9.3	Redukční ventily	37

10	Konstrukční řešení zkušebního stendu	40
11	Pokyny pro navazující profese	41
11.1	Popis funkce	42
11.1.1	Výchozí poloha	42
11.1.2	Cyklus zkoušky	43
11.2	Návrh výstupní tabulky	45
12	Závěr	46
13	Použité zdroje a literatura	47
14	Seznam příloh	50

Seznam obrázků

Obr. č. 3.1 - Kulový kohout	8
Obr. č. 3.2 - Zkušební stolice ZSU 300.....	9
Obr. č. 3.3 - Zkušební stolice ZS 400	10
Obr. č. 3.4 - tlaková zkušebna VCB 50	11
Obr. č. 3.5 - Mobilní tlakovací stand přímočarých motorů.....	12
Obr. č. 4.1 - Grafické značení směrnice ATEX	13
Obr. č. 4.2 - Příklad značení produktů spadajících pod směrnici ATEX	13
Obr. č. 5.1 - Svítidlo Miniminex LED.....	15
Obr. č. 5.2 - Svítidlo Orion.....	16
Obr. č. 5.3 - Svítidlo Herkules.....	17
Obr. č. 5.4 - Těleso svítidla orion se zkušebním přípravkem	18
Obr. č. 6.1 - Předběžný návrh zařízení	22
Obr. č. 7.1 - 3D model usazeného hydraulického válce	23
Obr. č. 7.2 - Silové poměry závitu	24
Obr. č. 7.3 - Nádrž hydraulického agregátu	29
Obr. č. 7.4 - Řídící křivka proporcionálního redukčního ventilu	30
Obr. č. 7.5 - Hydraulický agregát	31
Obr. č. 8.1 - Výkonnostní graf zvoleného multiplikátoru	33
Obr. č. 8.2 - Nádrž vodního systému	34
Obr. č. 9.1 - Závislost výstupního tlaku na průtoku jednotky úpravy stlačeného vzduchu ..	36
Obr. č. 9.2 - Závislost výstupního tlaku na průtoku proporcionálního redukčního ventilu ..	37
Obr. č. 9.3 - Závislost výstupního tlak na průtoku jemného redukčního ventilu	38
Obr. č. 9.4 - Panel pneumatického řízení.....	39
Obr. č. 10.1 - Konstrukční návrh zkušebního stendu	40
Obr. č. 11.1 - Editace receptur na ovládacím panelu	41
Obr. č. 11.2 - Hlavní obrazovka ovládacího panelu ve výchozí poloze	42
Obr. č. 11.3 - Grafika ovládacího panelu při měření tlaků.....	44

Seznam Tabulek

Tabulka 1 - Výchozí zkušební procedury.....	20
Tabulka 2 - Časový průběh zkušebního cyklu	21
Tabulka 3 - Stavy hydraulického systému v průběhu zkušebního cyklu.....	27
Tabulka 4 - Návrh tabulky výsledků zkušebních cyklů	45

Seznam použitých zkratk a symbolů

Značení	Název veličiny	Jednotka
t_0	Teplota provozního prostředí zkušebního zařízení	[°C]
t_{1-5}	Časové úseky zkušebního cyklu	[s]
D_V	Průměr pístu hydraulického válce	[mm]
d_{V1}	Průměr horní části pístnice	[mm]
d_{V2}	Průměr dolní části pístnice	[mm]
h_V	Zdvih hydraulického válce	[mm]
φ	Třecí úhel závitu	[°C]
F_t	Třecí síla v závitu	[N]
F_N	Normálová síla v závitu	[N]
f	Součinitel smykového tření v závitu	[–]
α	Úhel stoupání závitu	[°C]
P	Stoupání závitu	[mm]
π	Ludolfovo číslo	[–]
d_2	Průměr stoupání závitu	[mm]
d_{2min}	Minimální průměr stoupání závitu	[mm]
v_t	Teoretická rychlost posuvu hydraulického válce	[m · s ⁻¹]
Q_{t1}	Potřebný průtok pro vysouvání hydraulického válce	[dm ³ · min ⁻¹]
Q_{t2}	Potřebný průtok pro zasouvání hydraulického válce	[dm ³ · min ⁻¹]
$p_{PŘ}$	Přítlačný tlak	[bar]
p	Tlak na pojistném ventilu	[bar]
η_{Qt}	Odhadovaná účinnost hydrogenerátoru	[–]
P_t	Teoretický výkon elektromotoru	[kW]
P_s	Skutečný výkon elektromotoru	[kW]
n	Skutečné otáčky elektromotoru	[s ⁻¹]
V_{gt}	Teoretický geometrický objem hydrogenerátoru	[cm ³]
V_g	Skutečný geometrický objem hydrogenerátoru	[cm ³]
Q	Jmenovitý průtok hydrogenerátoru	[dm ³ · min ⁻¹]
p_{max}	Maximální tlak hydrogenerátoru	[bar]
η_V	Objemová účinnost hydrogenerátoru	[–]
Q_s	Skutečný průtok dodávaný hydrogenerátorem	[dm ³ · min ⁻¹]

v_1	Rychlost vysouvání hydraulického válce	$[m \cdot s^{-1}]$
v_2	Rychlost zasouvání hydraulického válce	$[m \cdot s^{-1}]$
p_{u1-3}	Tlak systému v průběhu zkušebního cyklu	$[bar]$
Q_{u1-3}	Průtok systému v průběhu zkušebního cyklu	$[dm^3 \cdot min^{-1}]$
τ_{u1-3}	Doba úseku zkušebního cyklu	$[s]$
P_{u1-3}	Výkony v úsecích zkušebního cyklu	$[kW]$
P_{EKV}	Ekvivalentní výkon hydraulického systému	$[kW]$
η_c	Celková účinnost hydraulického systému	$[-]$
P_Z	Ztrátový výkon hydraulického systému	$[kW]$
V_N	Objem nádrže hydraulického agregátu	$[dm^3]$
k_N	Součinitel prostupu tepla nádrže hydraulického agregátu	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
S_N	Teplosměnná plocha nádrže hydraulického agregátu	$[m^2]$
P_N	Chladicí výkon nádrže hydraulického agregátu	$[kW]$
t_{max}	Maximální provozní teplota zařízení	$[^{\circ}C]$
Q_{RV}	Průtok redukčním ventilem	$[dm^3 \cdot min^{-1}]$
V_V	Přibližný objem svítidla Herkules	$[dm^3]$
t_V	Uvažovaná doba plnění svítidla Herkules	$[s]$
Q_{Vt}	Teoretický průtok vodního hydrogenerátoru	$[dm^3 \cdot min^{-1}]$
h_v	Výtlačná výška vodního hydrogenerátoru	$[m]$
Q_V	Maximální průtok vodního hydrogenerátoru	$[dm^3 \cdot hod^{-1}]$
p_{ZK}	Zkušební tlak	$[bar]$
K_v	Modul objemové stlačitelnosti vody	$[Pa]$
ΔV_v	Úbytek objemu vody po stlačení	$[dm^3]$
d_t	Vnitřní průměr hadice	$[mm]$
l_t	Délka hadice	$[m]$
V_{Vp}	Objem vody v hadici	$[dm^3]$
V_M	Potřebný objem dodaný multiplikátorem	$[dm^3]$
Q_M	Průtok multiplikátorem	$[dm^3 \cdot min^{-1}]$
p_M	Výstupní tlak z multiplikátoru	$[bar]$
Q_{MS}	Spotřeba vzduchu multiplikátoru	$[Ndm^3 \cdot min^{-1}]$
V_{NV}	Užitečný objem vodní nádrže	$[dm^3]$
p_j	Výstupní tlak jednotky pro úpravu stlačeného vzduchu	$[bar]$

1 Úvod

Kde začít? Snad prvním výskytem šíření světla v našem známém vesmíru. Ten se datuje přibližně okolo roku 300 tisíc let po velkém třesku do období vzniku atomů, kdy došlo ke snížení teploty ve vesmíru na přibližně 4 000 °C, což umožnilo vznik atomů s neutrálním elektrickým nábojem. V předcházejícím období zabraňovalo příliš velké množství nabitých částic cestovat světlu na větší vzdálenosti. Tedy teprve až po zrodu těchto elektricky neutrálních atomů bylo světlo schopné cestovat do obrovských mezihvězdných dalek.

Co se však významu světla pro lidstvo týče, nepochybně důležitější, než pohyb světla byl vznik Slunce a sluneční soustavy, včetně naší modré planety Země. Pro tu je Slunce nejvýznamnějším, a hlavně nepostradatelným zdrojem energie. Díky slunečního světla se na Zemi dostává teplo, je taky příčinou cyklů počasí. V kombinaci s oxidem uhličitým a vodou pak sluneční světlo umožňuje rostlinám vytvářet kyslík, který dýcháme. Co je ale neméně důležité, díky slunečnímu světlu můžeme tuto enormní mašinerii života pozorovat vlastníma očima.

Již naši dávní předci ale zjistili, že sluneční světlo není jediným zdrojem energie na naší planetě. Nepochybně jeden z nejvýznamnějších objevů lidstva – oheň – sloužil jako zdroj světla a energie lidem žijícím v jeskyních. A kam v dnešní době nedosáhne elektrická síť, tak tam přináší teplo a osvětlení dodnes. Tento zdroj umělého světla však vystřídala pravá královna, elektřina. Po vynálezu žárovky Josephem Swanem a Thomasem Edisonem začalo její velké tažení nejen do lidských domácností, ale také do průmyslových nebo důlních prostor. Následoval vývoj zářivek a konečně také LED diod.

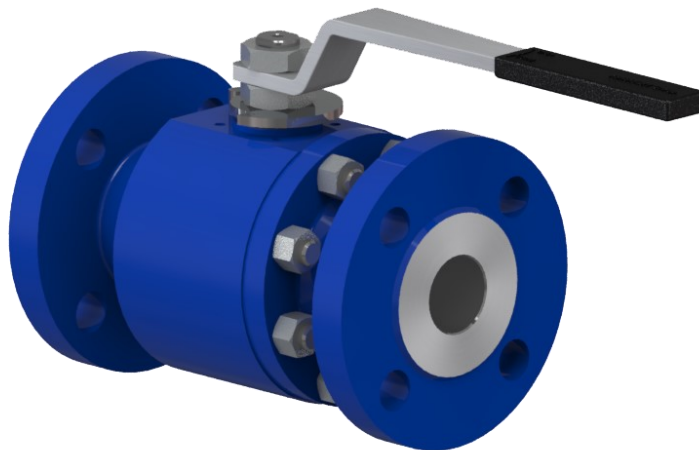
Elektřina se sice ukázala jako dobrý sluha, ale také zlý pán. Při zanedbání bezpečnostních opatření a postupů se často stane, že látka postižena elektrickým proudem vzplane, nebo dokonce exploduje. Toto riziko je o poznání větší v některých dnešních průmyslových nebo důlních prostorech, kde je myšlenka exploze naprosto nepřijatelná a výbuch by mohl mít pro mnoho pracovníků v těchto prostorách fatální následky. Z toho důvodu se začaly vyvíjet svítidla, které svou technologií minimalizují možnost exploze v takovýchto nebezpečných a náchylných prostředích. Jak ale zjistit, že takové svítidlo je vyrobené správně a opravdu zabrání případné explozi?

Zkušební zařízení jsou dnes již nepostradatelnou součástí našeho života. Někdy si jako uživatel neuvědomujeme, co všechno je testováno a co všechno je potřebné zkoušet. Zkušební zařízení nacházejí uplatnění v mnoha odvětvích průmyslu. Kdo dnes cokoliv vyrábí, musí mnohokrát dokazovat a věrohodně doložit kvalitu a technické parametry svých výrobků, jako právě výše zmíněných svítidel do prostředí s nebezpečím výbuchu. Návrhem jednoho takového zkušebního zařízení se také zabývá tato práce.

2 Přehled řešení obdobných zařízení pro tlakové zkoušky

Tlaková stolice je zařízení, pomocí kterého se získávají funkční parametry zkoušeného tělesa. Jedná se o stroj, do kterého se zkušební těleso upne, ať už mechanicky např. pomocí pohybových šroubů, pneumaticky nebo nejčastějším způsobem – hydraulicky. Upnuté těleso se pak začne plnit pracovním médiem, často vodou či vzduchem, začne se tlakovat a sleduje se, zda zkoušené těleso splňuje požadované funkční parametry pod požadovaným tlakem. Tyto parametry mohou být např. pevnost tělesa, integrita pláště tělesa, těsnost apod.

Takové tlakové stolice se často využívají ke zkoušení parametrů průmyslových armatur, ať už uzavíracích, pojistných, regulačních apod. Příkladem mohou být kulové ventily, zpětné ventily apod.



Obr. č. 2.1 - Kulový kohout

Zdroj: https://www.armaturygroup.cz/armatury/kulove-kohouty_ca2#&gid=5&pid=1

Požadavky na zkoušky, postupy zkoušek nebo přijímací kritéria na výrobní zkoušení průmyslových materiálů jsou dány normou. Např. výrobní, typové nebo přijímací zkoušení armatur vyrobených z kovových materiálů specifikuje evropská norma EN 12266-1 (4).

V drtivé většině případů jsou tlakové stolice vyráběny na zakázku jako jednoúčelové stroje pro zkoušení konkrétních typů armatur, či jiných průmyslových těles v závislosti na jejich požadovaných funkčních vlastnostech. Jsou ale i takoví výrobci, kteří vyrábějí katalogové zkušební stolice pro univerzální zkoušení těles se stejným typem připojení a normovanými požadavky na zkoušení, např. tlaková stolice pro zkoušení přírubových nebo navařovacích armatur.

Pro tlakové zkoušení pevnosti tělesa a těsnosti závěru přírubových armatur je příkladem zkušební stolice ZSU 300 firmy KSK Česká Třebová (5), která je dvěma zkušebními stendy pro zkoušení velkých armatur světlostí DN65 až DN300, a druhý pro zkoušky malých přírubových armatur o světlostech DN10 až DN65. Upínání na obou stendech je zajištěno hydraulicky a vyhodnocování výsledků zkoušky probíhá vizuálně obsluhou zařízení.



Obr. č. 2.2 - Zkušební stolice ZSU 300

Zdroj: <https://www.kskct.cz/cs/ostatni/zkusebny>

Stejný výrobce dodává i podobnou zkušební stolicí pro světlosti armatur DN15 až DN50, avšak hydraulický upínací mechanismus je přizpůsoben pro zkoušení pevnosti a těsnosti těles s přivařovacími konci. Vyhodnocení probíhá opět vizuálně obsluhou zařízení. Zkušební stand je konstruován, aby vydržel zkušební tlak armatury až 24 MPa, na který se využívá speciálně upravené vody. Zdrojem tlaku je pak výrobcem zvlášť dodávaný tlakový multiplikátor.



Obr. č. 2.3 - Zkušební stolice ZS 400

Zdroj: <https://www.kskct.cz/cs/ostatni/zkusebny>

Modernějším zařízením pak příkladem uvádím zkušební tlakovou stolicí vyrobenou nizozemskou společností VENTIL TEST EQUIPMENT B.V. (6), která nabízí možnosti zkoušení horizontálně upnuté uzavírací armatury jak vzduchem, tak kapalinou. Tato stolice umožňuje upínání armatur o světlosti DN15 až DN 400 a dovoluje zkušební tlaky až 70 MPa.

Oproti předešlým nabízí tato zkušební stolice vybavena laserovým počítadlem bublin a také hardwarem a softwarem, díky kterému je možné vystavit protokol o tlakových zkouškách, včetně počtu bublin, nebo grafů tlakových ztrát přímo z terminálu tlakové stolice. (7)



Obr. č. 2.4 - tlaková zkušebna VCB 50 (7)

Jedním příkladem uvádím také na zakázku vyrobený mobilní tlakovací stand, který je referencí společnosti PKS servis spol. s r.o. pro tlakové zkoušky pojistných bloků. Výrobce pak popisuje své zařízení takto:

„Mobilní tlakovací stand pro tlakové zkoušky pojistných bloků je kompaktní celek, který se skládá z okapové vany, která je osazena kolečky. Na okapové vaně je uchycená hliníková olejová nádrž a demontovatelný rám s pracovní plochou. Na víku nádrže se nachází elektromotor s držákem hydrogenerátoru a spojkou, nalévací hrdlo se vzduchovým filtrem, termostatem a snímačem hladiny.

Hydrogenerátor je zubový, tandemový. Na výstupu z každého čerpadla je zpětný ventil.

Tlak z prvního hydrogenerátoru proudí do dvoupozicového bloku, tento je osazen dvěma rozváděči a vestavným zaplombovaným pojistným ventilem. Jeden rozváděč slouží k tlakování hydraulického bloku umístěného na pracovní ploše a druhý slouží k tlakování hydraulických přímočarých hydromotorů. Regulace výstupního tlaku z bloku je možná pojistným ventilem v krocích po deseti barech.

K druhému hydrogenerátoru je připojený jednopozicový blok. Ten je osazen rozvaděčem a zaplombovaným pojistným ventilem. Rozvaděč je určen k tlakování hydraulického bloku umístěného na pracovní ploše. Regulace výstupního tlaku z bloku je možná pojistným ventilem, a to v rozsahu 10-100 bar. Odpadní filtr je umístěný na víku nádrže. Odpadní filtr je vybaven indikátorem zanesení filtrační vložky.

Prostor tlakovacího stendu, kde probíhají tlakové zkoušky pojistných bloků, je opatřený polykarbonátovým krytem. Hydraulický agregát je možné spustit pouze tehdy, když je polykarbonátový kryt uzavřen. Uzavřenou polohu tohoto krytu hlídá koncový spínač.“ (8)



Obr. č. 2.5 - Mobilní tlakovací stand přímočarých motorů (8)

3 ATEX


ATEX je v první řadě zkratka za „ATmosphères EXplosibles“. ATEX je zároveň také zkrácené označení pro evropskou směrnici 2014/34/EC (někdy označovanou jako ATEX 95) pro uvádění elektrických a mechanických zařízení, součástí a ochranných systémů s ochranou proti výbuchu na trh. Vstoupila v platnost již 1. července 2003 a platí od té doby pro všechna nová zařízení a ochranné systémy. (9) Za dodržování ustanovení této směrnice výhradně zodpovídá výrobce takovýchto zařízení.



Obr. č. 3.1 - Grafické značení směrnice ATEX

Zdroj: <https://www.bezpecnostprace.info/zakony/nova-direktiva-atex-zmeny/>

Zařízení a systémy, které spadají pod směrnici ATEX a chtějí být umístěny na trh, musí být zároveň opatřeny označením „CE“, jež dokládá, že výrobek splňuje veškeré základní požadavky příslušné směrnice, pod kterou spadá. Každý produkt spadající pod směrnici ATEX je pak označován normovaným kódem, který obsahuje značku CE, čtyřmístné číslo orgánu, který provedl certifikaci výrobku, symbol „Ex“ ve žlutém šestihranu, skupinu zařízení, kategorii zařízení, typ výbušné atmosféry, typ ochrany a teplotní třídu nebo číselný údaj o maximální povrchové teplotě v jednotkách °C. Příklad značení zkoušeného svítidla „Orion“ popsaného v následující kapitole je uveden na obrázku.

Zóna 1/21 II 2G Ex db eb IIC T4-T6 Db
Zóna 2/22 II 2D Ex tb IIIC Tmax. povrchu Db
Pro verze „F“  **IP 65**
Zóna 1/21 II 2G Ex db eb IIB T4-T6 Db
Zóna 2/22 II 2D Ex tb IIIC Tmax. povrchu Db

Obr. č. 3.2 - Příklad značení produktů spadajících pod směrnici ATEX (2)

Jak již bylo zmíněno, směrnice ATEX reguluje předpisy v oblasti hornictví a průmyslu a platí pro produkty užívané v prostředí s nebezpečím výbuchu, dále ale tato směrnice stanovuje požadavky a postupy k prokázání jejich splnění. Tyto požadavky a postupy se mohou lišit v závislosti na prostředí, ve kterém se zařízení využívá. (9)

Požadavky a nároky na přesnost měření a vyhodnocování talkové stolice, jejíž funkční schéma je předmětem této práce, tedy budoucí provozovatel určuje podle této směrnice ATEX 95.

4 Zkoušená tělesa

V této práci se zabývám návrhem pohonu zkušebního zařízení pro zkoušení těsnosti nevýbušných svítidel určených do prostoru s nebezpečím výbuchu. Tato svítidla jsou specialitou výrobního programu společnosti Elektrosvit Svatobořice s.r.o., jejíž hlavním předmětem výroby jsou pak podle účelu použití svítidla pro venkovní osvětlení komunikací, parků a sadů, dále svítidla průmyslová, interiérová, speciální a světlomety. (2)

V této práci navrhované tlakové stolici se budou zkoušet svítidla, která lze vzhledem k jejich konstrukčnímu řešení rozdělit do tří kategorií. Každá z těchto kategorií je pak zastupována jedním katalogovým svítidlem: Miniminex LED, Orion a Herkules. Tyto blíže popisují v následujících podkapitolách.

Navrhovaná tlaková stolice pak bude provádět tlakové zkoušky již hotových částí sestav tří typů katalogových svítidel, která blíže popíšu v následujících podkapitolách.

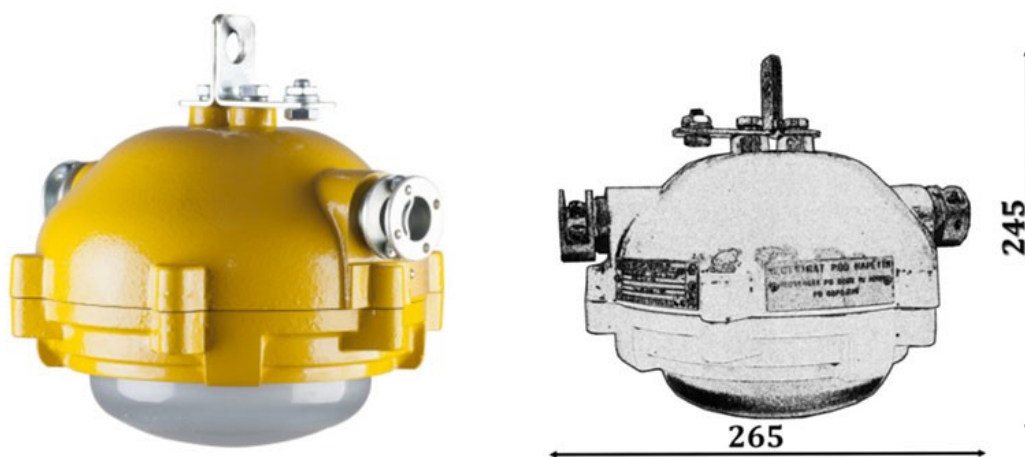
4.1 Svítidlo Miniminex LED

Jedná se o nejmenší typ zkoušeného svítidla. Toto nevýbušné svítidlo se využívá pro osvětlení důlních prostorů s možným nebezpečím výbuchu metanu a uhlého prachu.

Technický popis:

„Těleso a příruba svítidla jsou odlitky z šedé litiny povrchově upraveny práškovou barvou RAL 1005. Optický kryt je z kaleného skla. K horní části tělesa je připevněn ocelový závěs s okem. Po bocích tělesa jsou dvě kabelové vývodky. Uvnitř svítidla je zabudovaný LED modul. Dosedací plocha mezi přírubou a tělesem svítidla tvoří válcovou spáru nevýbušného závěru „d“. Svítidlo je konstruované jako průchozí, pro třífázové zapojení (pět žilový kabel). Při použití svítidla jako koncové se volná kabelová vývodka zaslepí zátkou. Maximální průřez připojovacích vodičů je 4mm².“ (2)

Díky litinové přírubě, která se u tohoto typu světla používá dosahuje hmotnosti vč. světelného zdroje až 14 kg.

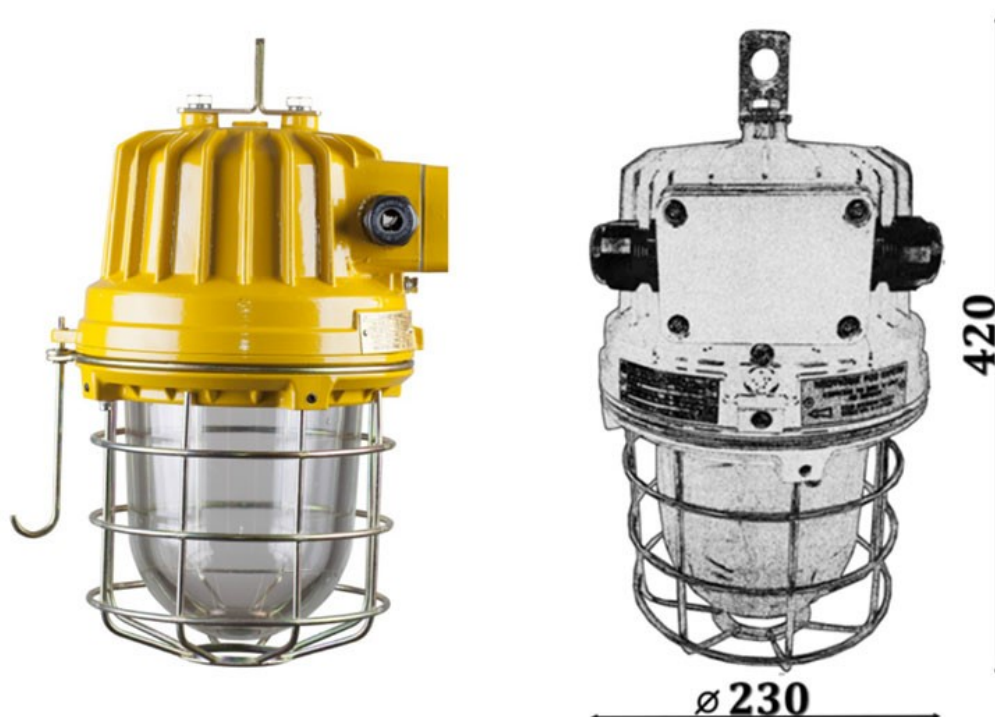


Obr. č. 4.1 - Svítidlo Miniminex LED

Zdroj: <https://elektrosvit.cz/produkt/nevybusna-svitidla/nevybusna-dulni-svitidla-led/miniminex/>

4.2 Svítidlo Orion

Svítidlo Orion je univerzální nevýbušné svítidlo pro osvětlování průmyslových prostorů s nebezpečím výbuchu plynů, par a prachů. Jde o prostory jak vnitřní, tak venkovní. Univerzální proto, že se v tomto typu svítidla používá téměř všech typů žárovek či výbojek. To mohou být halogenové žárovky, kompaktní zářivky, směsové výbojky a výjimečně také vysokotlaké sodíkové nebo rtuťové výbojky. Rozsah teplotních tříd se pohybuje v závislosti na světelném zdroji v rozmezí T3 až T6. I přes skutečnost, že svítidlo Orion je rozměrově téměř dvakrát větší než svítidlo Miniminex LED, jeho hmotnost vč. světelného zdroje díky méně robustní přírubě z litiny AlSi nepřesahuje 9 kg.

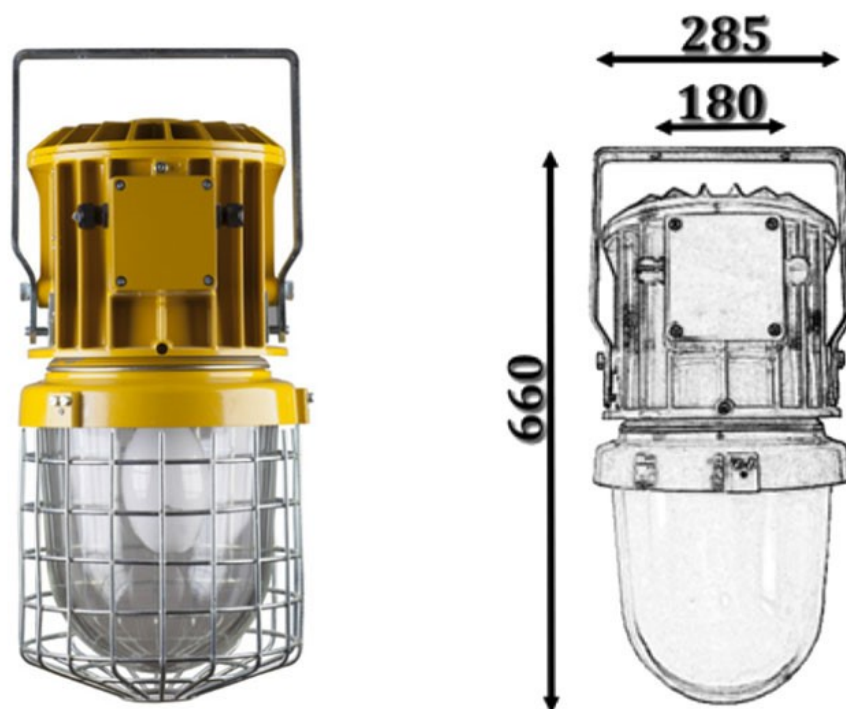


Obr. č. 4.2 - Svítidlo Orion

Zdroj: <https://elektrosvit.cz/produkt/nevybusna-svitidla/nevybusna-svitidla-zona-1-21/orion/>

4.3 Svítidlo Herkules

Svítidlo Herkules je největší, a proto také nejtěžší typ zkoušených svítidel. Tvarem a využitím se ztotožňuje se svítidlem ORION, blíže popsané v minulém odstavci kapitoly. Liší se však velikostí a typem světelného zdroje. U svítidla HERKULES se používají výhradně vysokotlakové výbojky sodíkové, rtuťové nebo halogenidové. Teplotní třídy se pohybují v rozmezí T3 až T6 a hmotnost svítidla nepřesahuje hodnotu 27 kg.



Obr. č. 4.3 - Svítidlo Herkules

Zdroj: <https://elektrosvit.cz/produkt/nevybusna-svitidla/nevybusna-svitidla-zona-1-21/herkules/>

Protože je svítidlo HERKULES nejobemnější, dá se předpokládat, že plnění a tlakování zkušebními médii bude u tohoto svítidla trvat nejdelší dobu. Proto je tento typ svítidla výchozím typem, podle kterého jsem postupoval při návrhu zkušebního mechanismu.

4.4 Pomocné přípravky pro zkoušení

Aby při zkoušení nedošlo k mechanickému poškození tělesa způsobeného přtlakem dosedací plochy hydraulického válce, musí se využít speciálních přípravků konstruovaných pro individuální typ svítidla. Tyto jsou navrženy tak, aby přenášely přtláčnou sílu z hydraulického válce na pevnou část zkoušeného dílu. Na ilustraci je zobrazené svítidlo Orion v pracovním prostoru starého zkušebního zařízení se zkušebním přípravkem, který je navíc opatřen ochranným košem. Ten je na přípravku umístěn z bezpečnostních důvodů. Protože staré zkušební zařízení nemělo ochranný kryt pracovního prostoru hrozilo, že při natlakování svítidla dojde k narušení integrity skla, jež by se mohlo prudce roztříštit a zranit tak obsluhu zařízení. Konstrukční těchto přípravků není předmětem této práce.



Obr. č. 4.4 - Těleso svítidla orion se zkušebním přípravkem

Všechna výše uvedená svítidla se zkouší zvlášť těleso a zvlášť příruba se sklem, které se montují dohromady až po odzkoušení obou dílů.

5 Upřesnění zadání

Byť musí zkoušená tělesa splňovat nařízení specifikována směrnicí ATEX (kap. 3. ATEX), za tuto skutečnost odpovídá sám výrobce svítidel. Nároky na zkušební stend tedy určuje právě výrobce a zároveň budoucí provozovat zařízení.

Zkušební zařízení bude sloužit k účelu testování nově vyrobených produktů blíže popsanych v kapitole 4. Zařízení bude testovat těsnost těchto produktů v rámci provozovatelem stanovených podmínek, které stanovují především zkušební tlak a dobu trvání tlakové zkoušky. Pokud během doby, kdy je těleso pod tlakem, vzroste úbytek tlaku nad stanovenou hranici, výsledek zkoušky produktu bude vyhodnocen jako „nevyhovující“ a produkt bude označen jako zmetek.

Na základě těchto informací se od navrhovaného zařízení očekává splnění následujících podmínek:

- 1) Zkušební cyklus bude probíhat automaticky, bez možnosti přístupu obsluhy do pracovního prostoru v průběhu zkušebního cyklu.
- 2) Doba celého zkušebního cyklu pro běžné procedury nebude delší než *2 min* (nevztahuje se na speciální zkušební procedury, které vyžadují delší dobu tlakování).
- 3) Bude možno obsluhou přidávat nebo editovat zkoušecí procedury přímo na ovládání zkušebního stendu.
- 4) Přesnost vyhodnocování výsledků bude *0,1 bar*.
- 5) Výsledek každého zkušebního cyklu bude sdělen obsluze na ovládacím panelu a zapsán do souboru ve formě tabulky.

Zařízení bude pracovat v prostředí průmyslové haly s okolní teplotou $t_0 = (0 \div 35) ^\circ\text{C}$. K dispozici bude mít zdroj elektrické energie a zdroj stlačeného vzduchu.

5.1 Dodané procedury s kritickými hodnotami

Na základě zkušeností zkoušení svých produktů dodal výrobce informace o zkušebních podmínkách zkoušených komponent. Tyto definují individuální zkušební procedury, z nichž některé stěžejní jsem definoval v následující tabulce.

Tabulka 1 - Výchozí zkušební procedury

Název svítidla	Komponenta svítidla	Přítlačný tlak	Zkušební tlak
		[<i>bar</i>]	[<i>bar</i>]
Miniminex LED	těleso	20	34
Miniminex LED	příruba	18	36
Orion	těleso	20	34
Orion	příruba	12	16
Herkules	těleso	30	50
Herkules	příruba	13	30
Herkules	víko	20	40

Zkušební tlaky, a tudíž i přítlačné tlaky všech tří typů svítidel se mohou lišit v závislosti na zdroji světla. Proto jsem v tabulce výše uvedl procedury s maximálními hodnotami tlaků, ze kterých jsem vycházel při výpočtech.

Poslední procedura v tabulce 1 určená pro víko je příklad pro zkoušení mimo pracovní prostor zkušebního zařízení. Tato součást se bude zkoušet externě. Postup a smysl externího zkoušení je blíže popsán v příloze B.

5.2 Časový průběh zkušebního cyklu

Časový průběh automatického zkušebního cyklu jsem navrhl od stisknutí tlačítka „start“ po kompletní odzkoušení a dekompresi celého zařízení. Odhadl jsem časové úseky, ze kterých jsem dále vycházel při výpočtech.

Tabulka 2 - Časový průběh zkušebního cyklu

Časový úsek t_i	Doba časového úseku [s]	Činnost
t_1	10	Posuv válce dolů, přítlak
t_2	10	Plnění zkoušeného dílu
t_3	10	Tlakování na zkušební tlak
t_4	30	Sledování poklesu tlaku
t_5	10	Posuv válce nahoru

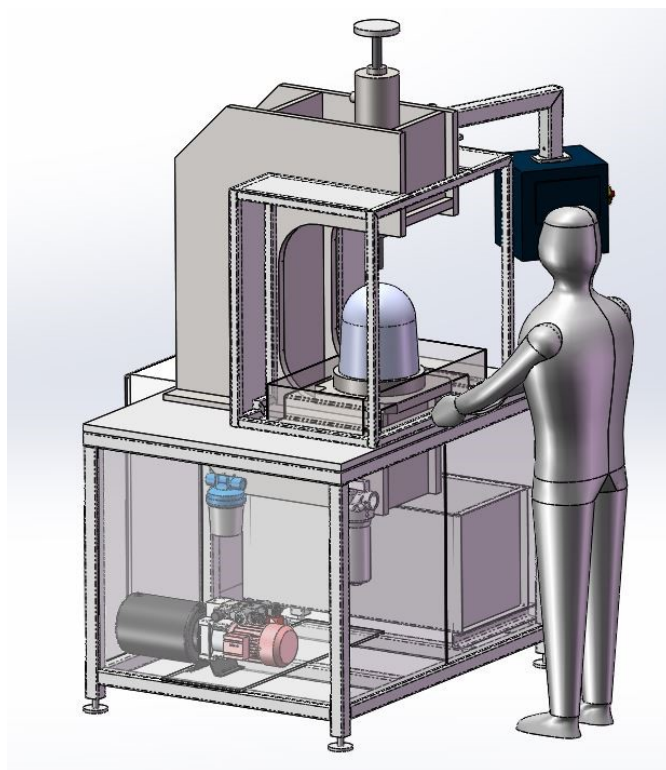
5.3 Předběžný komplexní návrh zkušebního zařízení

Bude se jednat o zcela nové unikátní zařízení (v této nabídce uvažujeme s použitím dílů upínacího válce) určené pro tlakové zkoušky jednotlivých dílů elektro svítidel přetlakem vody. Zařízení bude sestávat z několika částí. Základ zařízení bude tvořen základovým rámem z ocelových profilů s nátěrem komaxit a se stavitelnými nohami. V tomto rámu bude vložen zkušební rám tvaru C vyrobený z ocelových profilů v provedení nátěru komaxit. Ve spodní části tohoto rámu bude umístěná pozinkovaná vana, která bude soužit pro zachycení vody při vypouštění zkoušeného dílu. V této vaně bude umístěn ocelový podstavec, který bude sloužit pro uchycení zkoušeného dílu, přívod tlakové kapaliny a příslušenství tlakování. Dále pak bude zkušebnu tvořit hlavní nádrž v provedení komaxit. Zkušební okruh se bude skládat z čerpadla pro zaplnění objemu zkoušeného světla vodou a tlakového multiplikátoru. Multiplikátor bude řízen tlakem vzduchu, ovládaným proporcionálním redukčním ventilem. Obvod bude dále obsahovat potřebné ventilové vybavení pro obsluhu zkušebny, tedy s ventily pro odvodušnění, napouštění a vypouštění vody a dekompresi tlaku. Vypuštěná kapalina po tlakové zkoušce bude stékat samospádem do hlavní nádrže. Tlak bude hlídán velice přesným snímačem tlaku, který bude schopen

snímat hodnotu tlaku minimálně na dvě desetinná místa. Zkušební prostor bude oddělen od obsluhy ochranným bezpečnostním sklem. Vstupní otvor budou tvořit prosklená vratka v ocelovém rámu. Obsluha tak bude chráněna od zkoušeného natlakovaného dílu a současně uvidí co se děje se zkoušeným dílem. Uzavření vrátek bude hlídáno elektromagnetem. Upínací zařízení bude realizováno hydraulickým válcem s průběžnou pístnicí a seřizovacím trapézovým šroubem. Tlak v hydraulickém agregátu bude regulován proporcionálním ventilem. Zkouška bude probíhat poloautomaticky. Obsluha si zvolí z nabídky recepturu pro zkoušený díl. Taková receptura pro každý díl bude obsahovat:

- 1) hodnotu tlaku pro hydrauliku,
- 2) hodnotu zkušební tlaku,
- 3) dobu průběhu zkoušky.

Zkušební stand bude vybaven 2 vývody pro externí zkoušení dílů mimo pracovní prostor zkušební stolice. Systém bude řešen stavebnicově, bude jej tedy možné rozšířit o nastavbu PC a ovládání z PC.



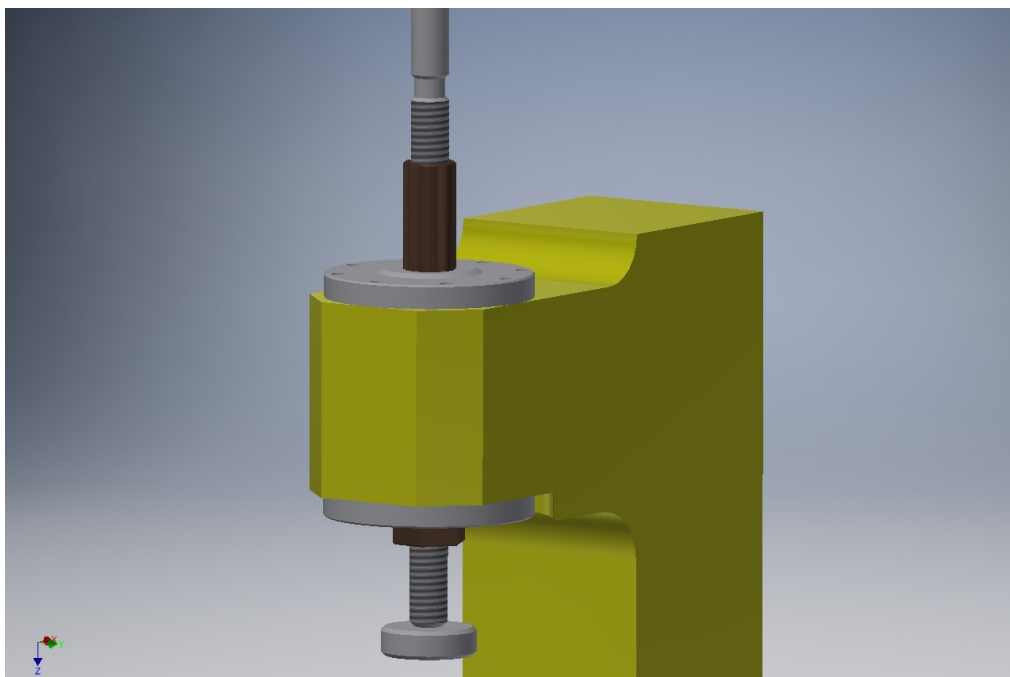
Obr. č. 5.1 - Předběžný návrh zařízení

6 Návrh hydraulického systému

Hydraulická část pohonů zkušebního zařízení bude plnit úlohu přitlaku zkoušeného dílu přes pomocný přípravek k ocelovému podstavci. Protože každá receptura pro jiný zkoušený díl vyžaduje jinou přitlačnou sílu, bude tlak v hydraulickém systému řízen proporcionálním redukčním ventilem.

6.1 Hydraulický válec

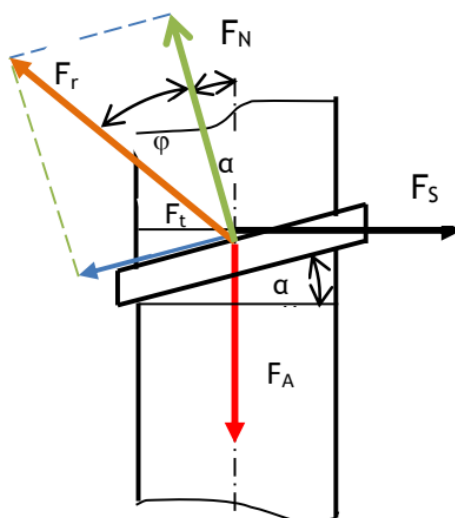
Protože budoucí provozovatel zkušebního stendu již podobným zařízením disponoval a přitlačné tlaky z jím dodaných procedur byly prakticky odzkoušeny na konkrétním hydraulickém válci, použil jsem pro tento zkušební stend hydraulický válec shodný, tedy přímočarý hydromotor se značením HV160/55/80-140. Jedná se o dvojčinný hydraulický válec s průměrem pístu $D_V = 160 \text{ mm}$, s průměrem horní části pístnice $d_{V1} = 55 \text{ mm}$ a dolní částí pístnice $d_{V2} = 80 \text{ mm}$. Hydraulický zdvih válce je pak $h_V = 140 \text{ mm}$. Konstrukčně je tedy tento hydraulický válec řešen dutou průchozí pístnicí, ve které je zabudován pohybový trapézový šroub, ručně ovládaný pro manuální přenastavení výšky přitlačné plochy na hydraulickém válci. Konec tohoto šroubu pak tvoří přitlačná dosedací plocha. Výrobní dokumentaci jsem zařadil do přílohy E, kde jsou výrobní výkresy součástí hydraulického válce, který je pak připraven na sestavení při montáži.



Obr. č. 6.1 - 3D model usazeného hydraulického válce

6.1.1 Samosvornost pohybového šroubu

Působením přítlačné síly, která je realizována hydraulickým válcem vzniká reakce této síly v pohybovém lichoběžníkovém závitu, který prochází dutou průběžnou pístnicí skrz. Z toho důvodu bylo nutné ověřit, zda je tento šroub samosvorný, aby nedocházelo k jeho povolování v době průběhu zkoušky. Kdyby šroub samosvorný nebyl, docházelo by vlivem ztráty přítlaku k poklesu tlaku zkušebního media – vody a mělo by to negativní vliv na výsledek zkoušky.



Obr. č. 6.2 - Silové poměry závitu

Z obrázku výše lze tvrdit, že platí vztah:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{F_t}{F_N} = \frac{F_N \cdot f}{F_N} = f [-] \quad (6.1.1)$$

kde $\operatorname{tg} \varphi$ je úhel třecí úhel závitu a f je součinitel smykového tření v závitu. Dalším vztahem pro určení samosvornosti je vztah pro úhel stoupání závitu:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{P}{\pi \cdot d_2} [-] \quad (6.1.2)$$

Definice podmínky samosvornosti zní, že úhel stoupání α musí být menší, než úhel třecí φ .

$$\operatorname{tg} \alpha < \operatorname{tg} \varphi \quad (6.1.3)$$

Po dosazení argumentů z rovnic 7.1.1 a 7.1.2 jsem dostal kontrolní vztah

$$\frac{P}{\pi \cdot d_2} < f \quad (6.1.4)$$

V hydraulickém válci jsem použil lichoběžníkový šroub Tr 40x7 vyrobený z klasické oceli. Minimální průměr tohoto šroubu je $d_{2min} = 36,5 \text{ mm}$ a stoupání tohoto závitu má hodnotu $P = 7 \text{ mm}$. Součinitel smykového tření v závitu uvažuji $f = 0,12 [-]$. Po dosazení do vztahu 7.1.4 tedy dostávám kontrolu samosvornosti.

$$\frac{6}{\pi \cdot 34,5} < 0,12 \quad (6.1.5)$$

$$0,061 < 0,12$$

Podmínka samosvornosti je tedy bezpečně splněna. Nebude tedy docházet k samovolnému uvolňování pohybovému trapézovému šroubu.

6.2 Návrh pohonu

Dle požadavků provozovatele je určená rychlost posunu válce $v_t = 0,012 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Tuto teoretickou rychlost posuvu hydraulického válce jsem využil k výpočtu teoreticky potřebných průtoků pro volbu hydrogenerátoru.

$$Q_{t1} = v_t \cdot \frac{\pi \cdot (D_V^2 - d_{V1}^2)}{4} \cdot 60000 = 0,012 \cdot \frac{\pi \cdot (0,16^2 - 0,055^2)}{4} \cdot 60000 \quad (6.2.1)$$

$$Q_{t2} = v_t \cdot \frac{\pi \cdot (D_V^2 - d_{V2}^2)}{4} \cdot 60000 = 0,012 \cdot \frac{\pi \cdot (0,16^2 - 0,080^2)}{4} \cdot 60000 \quad (6.2.2)$$

Tyto rovnice tedy určují potřebný teoretický průtok hydrogenerátoru pro posuv hydraulického válce směrem dolů Q_{t1} a pro posuv hydraulického válce směrem nahoru Q_{t2} .

$$Q_{t1} = 12,77 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

$$Q_{t2} = 10,86 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

Pro výběr hydrogenerátoru je tedy směrodatný průtok větší, tudíž průtok pohybu směrem dolů, a to je průtok Q_{t1} .

Dalším krokem pro výběr pohonu hydraulického agregátu bylo určení pracovního tlaku systému. S přihlédnutím na provozovatelem dodané informace jsem věděl, že maximální přítlačný tlak hydraulického válce je $p_{př} = 50 \text{ bar}$. Proto jsem zvolil pracovní tlak systému, který je zároveň nastaven na pojišťovacím ventilu $p = 70 \text{ bar}$. Tuto hodnotu pak jsem pak dosadil do vztahu pro výpočet potřebného teoretického výkonu elektromotoru.

Protože se jedná o systém s relativně malým průtokem, uvažoval s odhadovanou účinností hydrogenerátoru $\eta_{Qt} = 80 \%$.

$$P_t = \frac{Q_{t1} \cdot p}{600} \cdot \frac{1}{\eta_{Qt}} = \frac{12,77 \cdot 70}{600} \cdot \frac{1}{0,8} = 1,87 \text{ kW} \quad (6.2.3)$$

Na základě výsledné hodnoty výpočtu z této rovnice jsem určil vhodný elektromotor. S přihlédnutím na výkonovou rezervu jsem zvolil elektromotor značky SIEMENS s obchodním značením 1LA7107-4AA12 3kW.1420ot (3). Podle této volby jsem byl schopen určit další potřebné parametry, a to sice skutečný výkon $P_s = 3 \text{ kW}$ a skutečné otáčky elektromotoru $n = 1420 \text{ min}^{-1} = 23,67 \text{ s}^{-1}$. Při znalosti těchto dvou parametrů jsem dopočítal teoretický geometrický objem hydrogenerátoru V_{gt} , který je stěžejní při volbě hydrogenerátoru.

$$V_{gt} = \frac{Q_{t1}}{60 \cdot 10^3 \cdot n} \cdot 10^6 = \frac{Q_{t1} \cdot 10^2}{6 \cdot n} = \frac{12,77 \cdot 10^2}{6 \cdot 23,67} = 8,99 \text{ cm}^3 \quad (6.2.4)$$

Na základě tohoto teoretického geometrického objemu jsem zvolil hydrogenerátor značky Hydrocom E60 60 30 9,8 (15). Jde o zubové čerpadlo s vnějším ozubením o geometrickém objemu $V_g = 9,8 \text{ cm}^3$ a jmenovitým průtokem $Q = 13,9 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Toto čerpadlo pak může poskytovat tlak až $p_{max} = 125 \text{ bar}$. Výrobce udává objemovou účinnost $\eta_V = 0,89$.

S přihlédnutím na výrobcem uváděnou účinnost jsem zpětně dopočítal skutečný maximální průtok dodávaný hydrogenerátorem.

$$Q_s = V_g \cdot n \cdot \eta_V = 9,8 \cdot 10^{-6} \cdot 23,67 \cdot 0,89 \cdot 60000 = 12,39 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} \quad (6.2.5)$$

Posledním krokem při návrhu pohonu pak zbylo dopočítání maximálních skutečných rychlostí pohybů hydraulického válce. Ze skutečného maximálního průtoku v systému dodávaným hydrogenerátorem jsem tedy dopočítal maximální rychlost posuvu válce směrem dolů:

$$v_1 = \frac{Q_s \cdot 4}{\pi \cdot (D_V^2 - d_{V1}^2)} = \frac{12,93 \cdot 4}{\pi \cdot (0,16^2 - 0,055^2) \cdot 60000} = 0,0116 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (6.2.6)$$

A maximální rychlost posuvu válce směrem nahoru:

$$v_2 = \frac{Q_s \cdot 4}{\pi \cdot (D_V^2 - d_{V2}^2)} = \frac{12,93 \cdot 4}{\pi \cdot (0,16^2 - 0,08^2) \cdot 60000} = 0,0137 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (6.2.7)$$

Tyto rychlosti pohybu válce jsou vypočítané jako maximální hodnoty při plně otevřeném proporcionálním redukčním ventilu. V závislosti na zvolené zkušební proceduře obsluhou

bude v činnosti právě tento ventil a bude regulovat průtok v závislosti na požadovaném přitlačném tlaku. Proto se ve skutečnosti bude hydraulický válec pohybovat pomaleji v obou směrech, což vzhledem k automatizaci celého zkušebního procesu nijak nepřekáží. Z výše vypočtených maximálních rychlostí pak mohu usuzovat, že hydraulický válec se pohybuje dostatečně pomalu, aby nedošlo k prudkému nárazu přitlačné plochy válce ke zkoušenému dílu a nedošlo tak k jeho mechanickému poškození.

6.3 Volba nádrže a chlazení

Pro návrh způsobu chlazení hydraulického systému bylo třeba určit ztrátový výkon obvodu. Pro ten bylo nutné znát ekvivalentní výkon obvodu. Aby bylo možné tento vypočítat, určil jsem, v jakých časových úsecích a za jakých podmínek bude zkušební cyklus probíhat.

Tabulka 3 - Stavy hydraulického systému v průběhu zkušební cyklu

	Tlak systému p_{ui} [bar]	Průtok v systému Q_{ui} [dm ³ · min ⁻¹]	Doba trvání úseku τ_{ui} [s]
Úsek 1	70	13,9	10
Úsek 2	3	0	30
Úsek 3	70	13,9	10

Úsek 1 představuje posun hydraulického válce směrem dolů a přitlak zkoušeného dílu. V druhém úseku je pak hydraulický agregát díky „Start-stop“ systému s hydraulickým zámkem zcela nečinný po dobu tlakování zkoušeného dílu, a úsek 3 pak představuje výjezd hydraulického válce do výchozí polohy a uvolnění přitlaku zkoušeného dílu.

Výpočet jednotlivých výkonů v každém úseku pak vypadá následovně.

Úsek 1:

$$P_{u1} = \frac{Q_{u1} \cdot p_{u1}}{600} = \frac{13,9 \cdot 70}{600} = 1,62 \text{ kW} \quad (6.3.1)$$

Úsek 2:

$$P_{u2} = \frac{Q_{u2} \cdot p_{u2}}{600} = \frac{0 \cdot 3}{600} = 0 \text{ kW} \quad (6.3.2)$$

Úsek 3:

$$P_{u3} = \frac{Q_{u3} \cdot p_{u3}}{600} = \frac{13,9 \cdot 70}{600} = 1,62 \text{ kW} \quad (6.3.3)$$

Ekvivalentní výkon jsem pak určil tímto vztahem.

$$P_{EKV} = \frac{P_{u1} \cdot \tau_{u1} + P_{u2} \cdot \tau_{u2} + P_{u3} \cdot \tau_{u3}}{\tau_{u1} + \tau_{u2} + \tau_{u3}} \quad (6.3.4)$$
$$P_{EKV} = \frac{1,62 \cdot 10^3 \cdot 10 + 0 + 1,62 \cdot 10^3 \cdot 10}{10 + 30 + 10} = 0,648 \text{ kW}$$

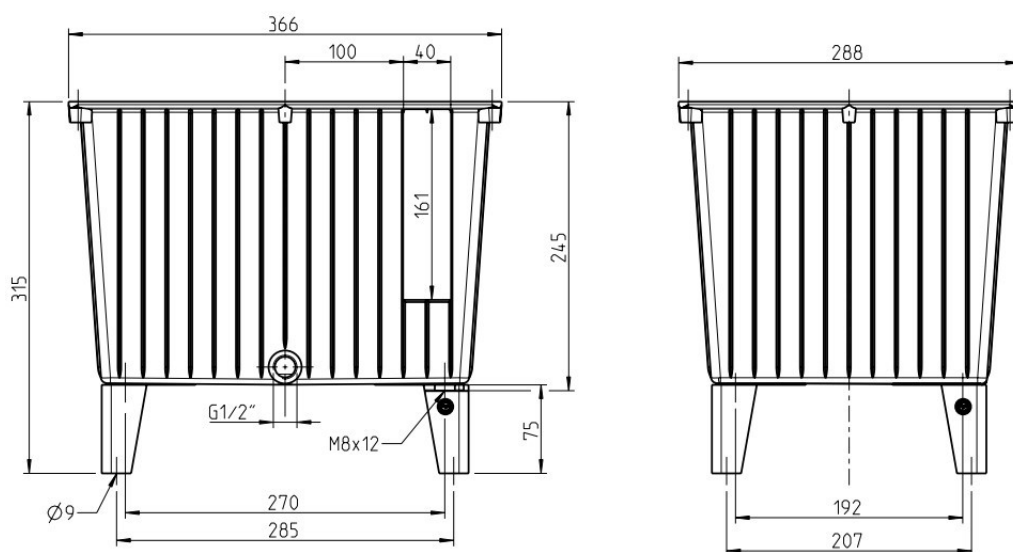
Celková účinnost hydraulického systému je dána všemi účinnostmi, jak mechanicko-tlakovou, průtokovou tak objemovou, a záleží na volbě konkrétních prvků. Pro výpočet ztrátového výkonu jsem uvažoval, že celková účinnost systému nebude nižší než 70 %, tedy $\eta_c = 0,7$. Vypočítal jsem tedy ztrátový výkon.

$$P_Z = P_{EKV} \cdot (1 - \eta_c) = 0,648 \cdot (1 - 0,7) = 0,195 \text{ kW} \quad (6.3.5)$$

Nádrž jsem zvolil hliníkovou od výrobce R+L Hydraulics (14) o velikosti $V_N = 20 \text{ dm}^3$. Výrobce udává součinitele prostupu tepla $k_N = 18 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ a teplosměnnou plochu nádrže $S_N = 0,5 \text{ m}^2$. Chladicí výkon nádrže pak lze vypočítat následujícím vztahem.

$$P_N = \frac{k_N \cdot S_N \cdot (t_{max} - t_0)}{10^3} = \frac{18 \cdot 0,5 \cdot (65 - 35)}{10^3} = 0,270 \text{ kW} \quad (6.3.6)$$

kde $t_{max} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$ je maximální provozní teplota pracovního media – oleje a $t_0 = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ je maximální teplota pracovního prostředí celého zkušebního zařízení.



Obr. č. 6.3 - Nádrž hydraulického agregátu (14)

Protože platí, že množství tepla, které je schopná odvést nádrž je vyšší než teplo, které při zkušební cyklu vzniká (rov. (6.3.7)), a to téměř dvojnásobně, konstatuji, že v systému není třeba přídavného chladicího zařízení.

$$P_N > P_Z \quad (6.3.7)$$

6.4 Volba ostatních prvků

Hydraulický systém samozřejmě obsahuje i další hydraulické prvky, které umožňují správnou funkci přitlačného zařízení. Bezprostředně za hydrogenerátorem je umístěn pojistný ventil. Za ním je na hlavní tlakové větvi umístěn zpětný ventil, který chrání hydrogenerátor. Pro ochranu velice citlivého, a především velmi drahého proporcionálního redukčního ventilu je před tímto umístěn vysokotlaký filtr s filtrační vložkou pro jemnost filtrace $15\ \mu\text{m}$. Za ním již zmíněný proporcionální redukční ventil, který má hlavní úlohu řízení přitlačného tlaku hydraulického válce. Tento tlak je rozdílný pro individuální zvolenou proceduru. Zpětnou vazbou pro tento řídicí ventil je pak tlakový snímač s měřicím rozsahem $(0 \div 100)\ \text{bar}$ umístěný ve větvi „A“, která je tlakovou větví pro pohyb válce směrem dolů.

11 DIAGRAMS (based on mineral oil ISO VG 46 at 50 °C)

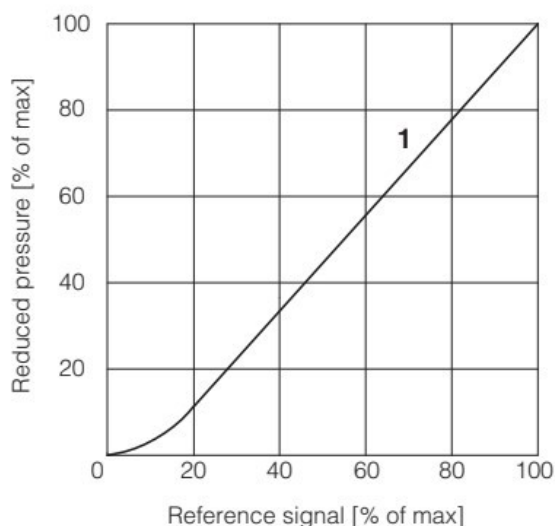
11.1 Regulation diagrams

with flow rate $Q = 10\ \text{l/min}$

1 = RZGO, HZGO

2 = KZGO

Note: the presence of counter pressure at port T can affect the effective pressure regulation



Obr. č. 6.4 - Řídící křivka proporcionálního redukčního ventilu

Zdroj: <http://www.atos.com/tables/english/FS070.pdf>

Proporcionál je řízen napěťovým signálem $(0 \div 10)\ \text{V}$. Závislost redukovaného tlaku v procentech na referenčním řídicím signálu je vyobrazena na grafu výše. Křivka je dána výrobcem při průtoku $Q_{RV} = 10\ \text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Diagram vychází z použití minerálního oleje o viskózní třídě ISO VG 46 a z provozní teploty $50\ ^\circ\text{C}$.

Řízení směru pohybu válce je pak realizováno elektricky řízeným 4/3 rozváděčem se středovou polohou ve tvaru „Y“, která je nezbytná pro funkčnost obvodu s hydraulickým zámekem. Ten je realizován dvěma elektricky řízenými sedlovými N.C. ventily.

Celý tento hydraulický agregát je v bloku umístěn na víku výše zmíněné hydraulické nádrže a s hydraulickým válcem je propojen hydraulickými hadicemi.

Všechny prvky jsou blíže specifikovány v příloze A – Projektová dokumentace.



Obr. č. 6.5 - Hydraulický agregát

7 Návrh vodního systému

Účel vodního systému je dopravovat dostatečné množství zkušebního media, tedy vody, do zkoušeného dílu. Z hlavní nádrže bude hydrodynamické čerpadlo čerpat vodu skrze vodní filtr a rozvodný blok do zkoušeného dílu. Jakmile bude zkoušený díl vody plný, uzavře se jehlový ventil, který umožní dopravovat vodu tlakovacím okruhem, a to skrze pneumaticky řízený multiplikátor, který přivede vodu ve zkoušeném díle na požadovaný tlak.

7.1 Volba hydrogenerátoru

Pro volbu vodního dynamického hydrogenerátoru jsem vycházel z potřebného průtoku, který jsem odvodil z objemu zkoušeného dílu a doby, za kterou požaduji mít zkoušený díl zcela zaplněný vodou.

Dle materiálu dodaným výrobcem (příloha F – svítidlo Herkules), je objem největšího zkoušeného dílu, jímž je příruba se sklem svítidla Herkules, přibližně $V_V = 12 \text{ dm}^3$. Uvažoval jsem, že doba plnění takového objemu je $t_V = 10 \text{ s}$. Z těchto dvou hodnot jsem dopočítal požadovaný průtok hydrogenerátoru.

$$Q_{Vt} = \frac{V_V}{t_V} \cdot 60 = \frac{12}{10} \cdot 60 = 72 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} \quad (7.1.1)$$

Zvolil jsem tedy čerpadlo společnosti Alfapumpy s obchodním označením HC32-075N (10), které disponuje maximální výtlačnou výškou $h_v = 30 \text{ m}$, jež je vzhledem k rozměrům zkušebního zařízení více než dostatečná, a maximálním průtočným množstvím $Q_V = 8\,000 \text{ dm}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$.

7.2 Volba multiplikátoru

Při výběru multiplikátoru jsem nejprve dopočítal změnu objemu kapaliny po jejím stlačení na největší zkušební tlak, jímž je $p_{ZK} = 30 \text{ bar}$. Pro výpočet jsem uvažoval hodnotu modulu objemové stlačitelnosti vody $K_v = 2,1 \cdot 10^9 \text{ Pa}$ (11).

$$\Delta V_V = \frac{V_V \cdot p_{ZK}}{K_v} = \frac{12 \cdot 30 \cdot 10^5}{2,1 \cdot 10^9} = 0,02 \text{ dm}^3 \quad (7.2.1)$$

K tomuto úbytku objemu bylo nutné uvažovat také s objemem kapaliny v potrubí. Z multiplikátoru do zkoušeného dílu je kapalina vedena hydraulickou hadicí o vnitřním průměru $d_t = 12 \text{ mm}$ a délce přibližně $l_t = 1,5 \text{ m}$. Objem vody v potrubí jsem tedy určil následujícím vztahem.

$$V_{Vp} = \frac{\pi \cdot d_t^2}{4} \cdot l_t = \frac{\pi \cdot (12 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 1,5 \cdot 10^3 \cong 0,17 \text{ dm}^3 \quad (7.2.2)$$

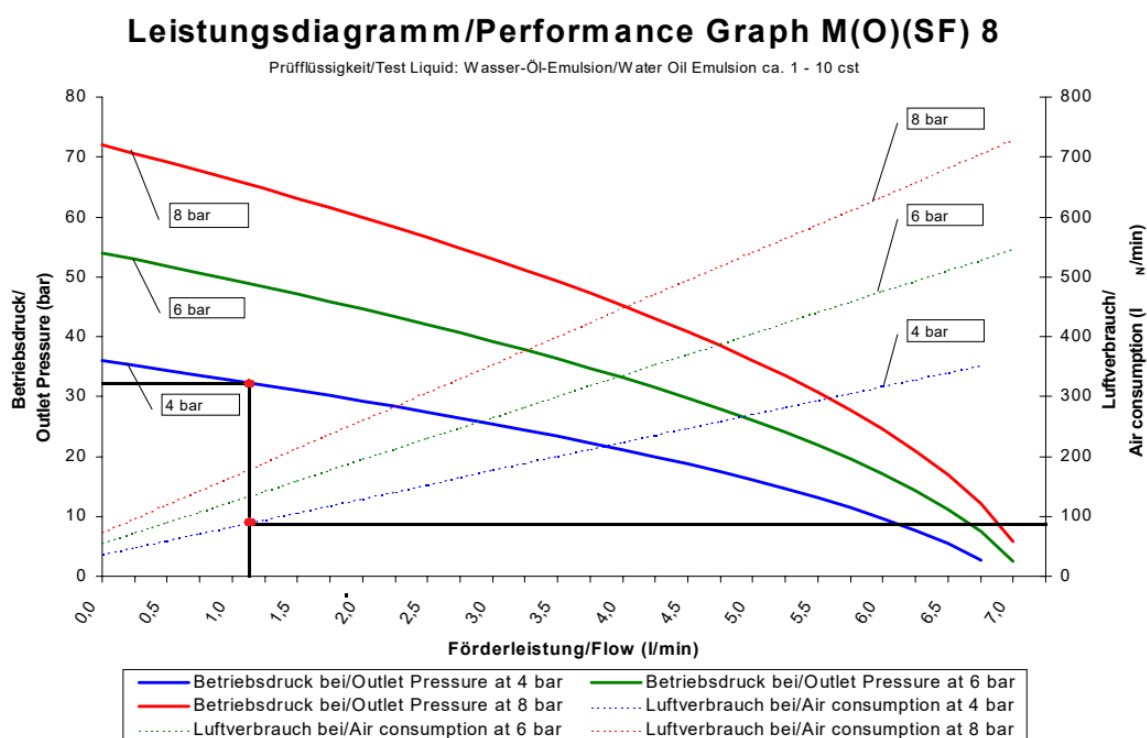
Celkový potřebný objem dodaný multiplikátorem je tedy

$$V_M = \Delta V_V + V_{Vp} = 0,02 + 0,17 = 0,19 \text{ dm}^3 \quad (7.2.3)$$

Protože navržený časový průběh zkoušky předpokládá dobu tlakování zkoušeného tělesa méně než 10 s , vycházel jsem z této časové hodnoty pro výpočet průtoku multiplikátorem.

$$Q_M = \frac{V_M}{t_3} = \frac{0,19}{10} \cdot 60 = 1,14 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

Dle následujícího grafu jsem zvolil multiplikátor vyráběný pro pracovní medium vodu, dodávaný výrobcem Maximator (12). Odhadovaná tlaková ztráta potrubí a rozvodného bloku není vyšší než 4 bar .



Obr. č. 7.1 - Výkonnostní graf zvoleného multiplikátoru (12)

Z grafu zvoleného multiplikátoru je patrné, že při průtoku $Q_M = 1,14 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ je výstupní tlak z multiplikátoru přibližně $p_M = 33 \text{ bar}$ a spotřeba vzduchu přibližně $Q_{MS} = 90 \text{ Ndm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$

7.3 Volba nádrže

Volba objemu vodní nádrže závisí čistě na objemu kapaliny, který je třeba k naplnění zkoušeného dílu. Jak jsem zmínil v předchozích kapitolách, objem největšího zkoušeného dílu je příruba se svítidlem Herkules o objemu $V_V = 12 \text{ dm}^3$. K němu jsem musel brát v potaz objem vody v potrubí a vodním filtru. Přihlédl jsem také na objem kapaliny, který po odtoku ze zkoušeného dílu stéká do záchytné vany a samospádem se vrací do navrhované nádrže s vodou. Po tomto uvážení jsem zvolil kovovou nádrž o užitečném objemu $V_{NV} = 60 \text{ dm}^3$. Tato nádrž vyrobena firmou Interfluid poskytuje dostačující objem vody pro průběh několika zkušebních cyklů bezprostředně za sebou a svými rozměry pak umožňuje usazení potřebných prvků na víko nádrže.



Obr. č. 7.2 - Nádrž vodního systému

7.4 Ostatní prvky

7.4.1 Snímač odtoku kapaliny

Pro automatizaci zkušebního cyklu je nutné zjistit, kdy je zkoušené těleso zcela zaplněno zkušebním médiem, tedy vodou a počítač může přejít k dalšímu kroku zkušebního cyklu, tedy k tlakování. Tato skutečnost je vyřešena tak, že v odtokové větvi ze zkoušeného dílu je umístěn kapacitní senzor, který je vhodný ke snímání suchých sypkých materiálů nebo kapalných médií přes nekovové stěny a trubice do vzdálenosti až *12 mm*. Po praktickém odzkoušení se ukázalo, že senzor správně umístěný na plastové odtokové trubce je spolehlivě schopen sepnout, pokud detekuje souvislý proud tekoucí vody. Na tento popud je pak pneumaticky uzavřen jehlový ventil a počítač přistoupí k další fázi zkoušky, k tlakování kapaliny.

7.4.2 Pneumaticky řízený jehlový ventil

Jak již bylo zmíněno, pneumaticky řízený kulový ventil je uzavřen po detekci kapaliny v odtokové větvi zkoušeného dílu. Tento ventil má za úkol utěsnit odtokovou větev, aby mohlo dojít k tlakování zkoušeného dílu, proto je nutné, aby zkušební tlak vydržel, a aby co nejlépe těsnil. Z tohoto důvodu je řízen pneumaticky a ne elektricky.

7.4.3 Vysokotlaký filtr

Pro uchování maximální těsnosti pneumaticky řízeného jehlového ventilu je kladen velký nárok na čistotu kapaliny. Z tohoto důvodu je před něj zapojen vysokotlaký filtr s papírovou filtrační vložkou pro filtraci částic až *10 μm*. Zvolený filtr je dodáván firmou Argo-hytos ().

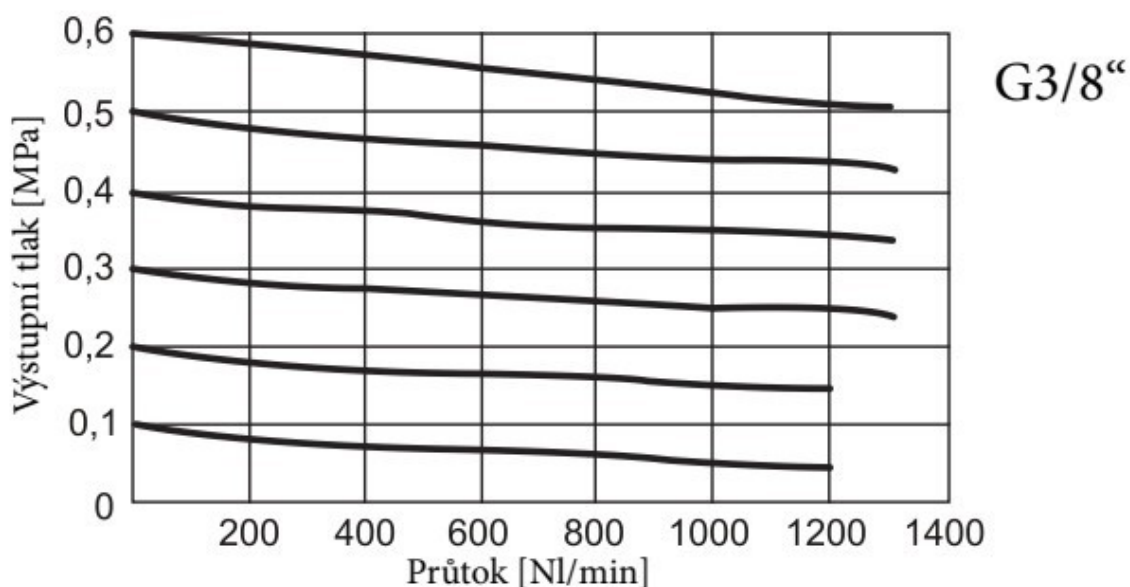
8 Návrh pneumatického systému

Pneumatický systém je v obvodu ze dvou důvodů. Jednak pro řízení multiplikátoru, kterým se tlakuje zkoušený díl na požadovaný tlak vody, a jednak pro řízení pneumaticky ovládaného kulového ventilu, na který je kladený velmi vysoký nárok na těsnost. Zkušebna nedisponuje zdrojem stlačeného vzduchu. Ten je třeba zajistit a připojit pro správnou funkci zařízení.

8.1 Jednotka pro úpravu vzduchu

První ochranný prvek pneumatického systému je jednotka pro úpravu vzduchu. Zvolil jsem jednotku ze standartní řady, která disponuje filtrační vložkou s jemností $5\mu m$ a je vyrobena pro vstupní tlaky $(0,5 \div 10) \text{ bar}$. Výstupní tlak pak dosahuje maximální hodnoty $8,5 \text{ bar}$.

Výstupní tlak na ventilu jednotky pro úpravu vzduchu jsem nastavil na $p_j = 5 \text{ bar}$.



Obr. č. 8.1 - Závislost výstupního tlaku na průtoku jednotky úpravy stlačeného vzduchu

Zdroj: https://www.stranskyapetrzik.cz/objekty/katalog_14_strana_8-2.pdf

8.2 Řídící rozváděče

Za jednotkou úpravu jsou v systému zařazeny dva řídící rozváděče. Oba tyto rozváděče jsou 3/2 elektricko-pneumaticky řízené NC ventily. V příloze D jsou tyto rozváděče označeny čísly 27.1 a 27.2.

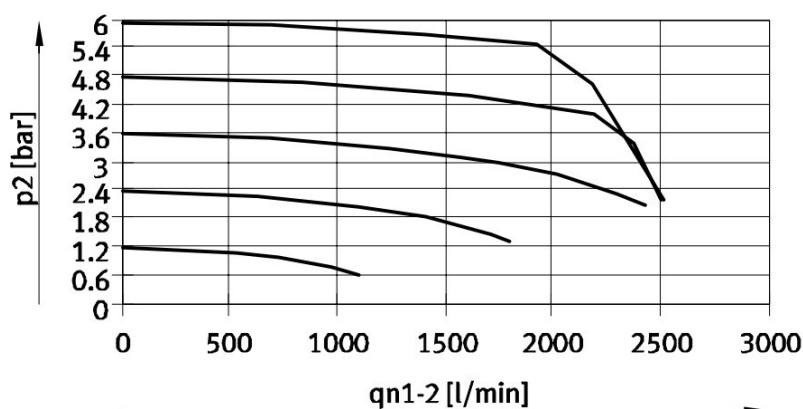
Jeden z nich slouží v systému jako odlehčovací ventil, který se při výpadku energie zůstává uzavřen, aby nedošlo k poškození redukčních ventilů a multiplikátoru.

Druhý z těchto rozváděčů slouží jako rozváděč pro řízení pneumaticky řízeného ventilu popsaného v kapitole 7.4.2, který po výpadku energie musí zůstat uzavřen, dokud nedojde k manuální dekompresi.

8.3 Redukční ventily

Pro řízení funkce multiplikátoru, který tlakuje vodu ve zkušebním díle na požadovaný zkušební tlak jsou v pneumatickém systému dva paralelně zapojené redukční ventily. Pro správnou funkčnost multiplikátoru je zapotřebí, aby byl správným otevřením a uzavřením kulových ventilů (blíže popsáno v příloze B v provozu pouze jeden z těchto redukčních ventilů).

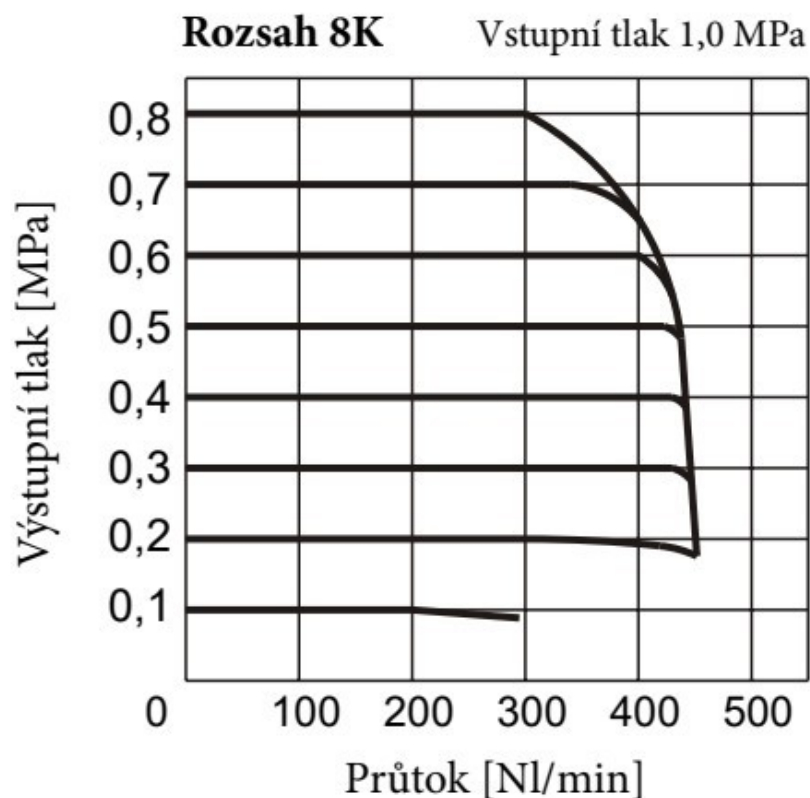
Prvním z nich a také primárním řídícím ventilem je elektricko-pneumaticky nepřímý řízený proporcionální membránový redukční ventil s řídící jednotkou pro řízení signálem $(4 \div 20) \text{ mA}$. Zpětnou vazbou pro řízení vstupního tlaku multiplikátoru je pro něj Tlakový snímač s měřícím rozsahem $(0 \div 100) \text{ bar}$.



Obr. č. 8.2 - Závislost výstupního tlaku na průtoku proporcionálního redukčního ventilu při vstupní tlaku 6 bar

Zdroj: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/VPPM-G_CZ.PDF

Paralelně zapojeným k tomuto proporcionálnímu redukčnímu ventilu je přesný redukční ventil, manuálně řízený s jemným stoupáním závitu na seřizovacím šroubu pro nastavení požadovaného tlaku s přesností 0,2 % z celkového rozsahu výstupního tlaku, což je u zvoleného typu (0,1 ÷ 8) *bar* (13). Tento redukční ventil slouží výhradně k servisním nebo testovacím účelům.



Obr. č. 8.3 - Závislost výstupního tlaku na průtoku jemného redukčního ventilu (13)

Po zvolení multiplikátoru pro tlakování vody bylo patrné z grafu na obrázku „Obr. č. 7.1“, že spotřeba stlačeného vzduchu multiplikátoru je $Q_{MS} = 90 \text{ Ndm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Vzhledem k tomuto faktu poskytují zvolené redukční ventily i jednotka pro úpravu vzduchu dostatečné průtočné množství stlačeného vzduchu pro správný chod multiplikátoru.



Obr. č. 8.4 - Panel pneumatického řízení

9 Konstrukční řešení zkušebního stendu

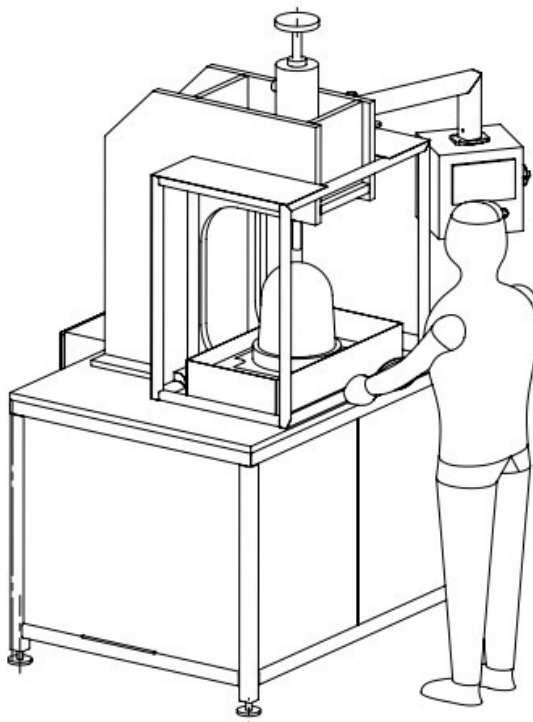
Obsluha bude stát u přední strany zařízení. Ve výšce přibližně 1100 mm je robustní pracovní deska. Na té je umístěn ochranný kryt s průhledným tvrzeným plastovým sklem, uvnitř kterého se nachází pracovní prostor, a v němž probíhá samotné zkoušení. Je v něm umístěn podstavec pro umístění zkoušeného dílu, kde ústí hadice pro přítok a odtok zkušebního media. Také je v tomto prostoru vyložena nerezová záchytná vana.

Za ochranným krytem na pracovní desce se tyčí robustní ocelový sloup ve tvaru „L“, v němž je usazen hydraulický válec pro přitlak zkoušeného dílu. Z tohoto sloupu je také vyvedeno otočné rameno s ovládacím panelem.

Pod pracovní deskou je umístěna skříň, kde jsou uloženy řídicí prvky pohonných mechanismů, tedy hydraulický a vodní agregát a prvky pro řízení stlačeným vzduchem s jednotkou pro úpravu stlačeného vzduchu.

Celý zkušební stend stojí na čtyřech výškově nastavitelných nohách.

Podrobně je konstrukce zkušebního zařízení popsáno v příloze B a podrobnější konstrukční schéma je vyobrazeno v příloze F.



Obr. č. 9.1 - Konstrukční návrh zkušebního stendu

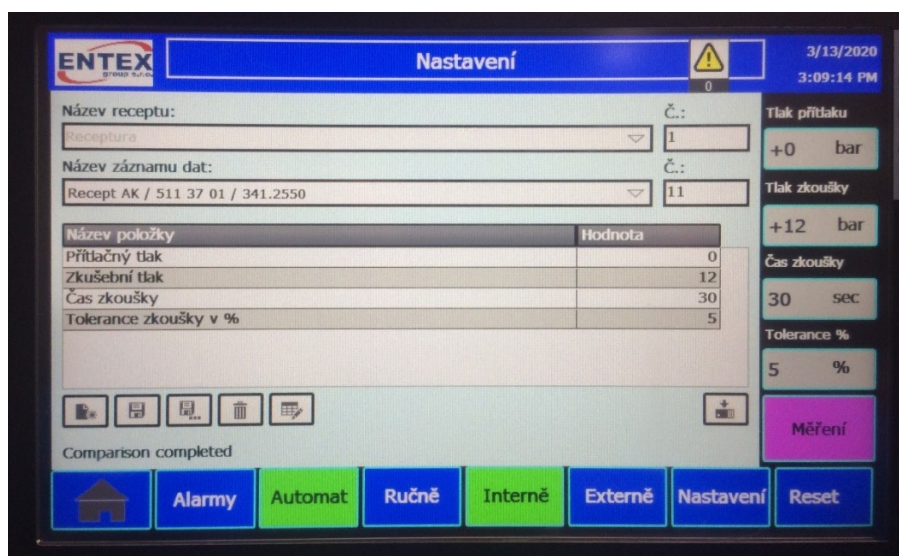
10 Pokyny pro navazující profese

Pro uvedení do provozu zkušebního zařízení je potřeba zásah profese elektro a software. Ten pak musí provést kabeláž pro přívod elektrické energie a řídicích signálů k příslušným prvkům. Aby mohl vytvořit řídicí logiku, vytvořil jsem funkční tabulky ventilů a motorů, podle kterých bude elektrikář schopen sestavit řídicí logiku a automatizovat tak zkušební cykly. Tyto tabulky jsem uvedl v příloze C, v příloze D a v příloze A v sekci „Motorová listina.“

Agregáty rovněž disponují bezpečnostními prvky jako je termostat či hladinový spínač, které při dosažení kritických hodnot odstaví celé zařízení, aby nebylo možné spustit zkušební cyklus.

Dalším ochranným prvkem se mechanické uzamčení pracovního prostoru po dobu zkušebního cyklu. Aby bylo možné zkoušení spustit, je nutné, aby obsluha uzavřela obě křídla dveří pracovního prostoru. Je-li tato podmínka splněna, obsluha může tlačítkem odstartovat cyklus se zvolenou procedurou, načež dojde k uzamčení dvířek. Tyto se odemknou až po ukončení zkušebního cyklu a vysunutí přítlačného hydraulického válce do výchozí polohy.

Práce elektrikáře obsahuje také vytvoření grafického prostředí pro hlavní ovládací panel. Za zmínku stojí, že k původně namyšlené možnosti editací zkušebních procedur jsem navrhl také možnost každé procedury nastavit úroveň tolerance poklesu tlaku za dobu zkoušení, která je vyhodnocena jako přípustná pro pozitivní výsledek zkoušky. Výchozí dovolený pokles je nastaven na 5 % naměřeného tlaku na začátku samotného zkoušení.



Obr. č. 10.1 - Editace receptur na ovládacím panelu

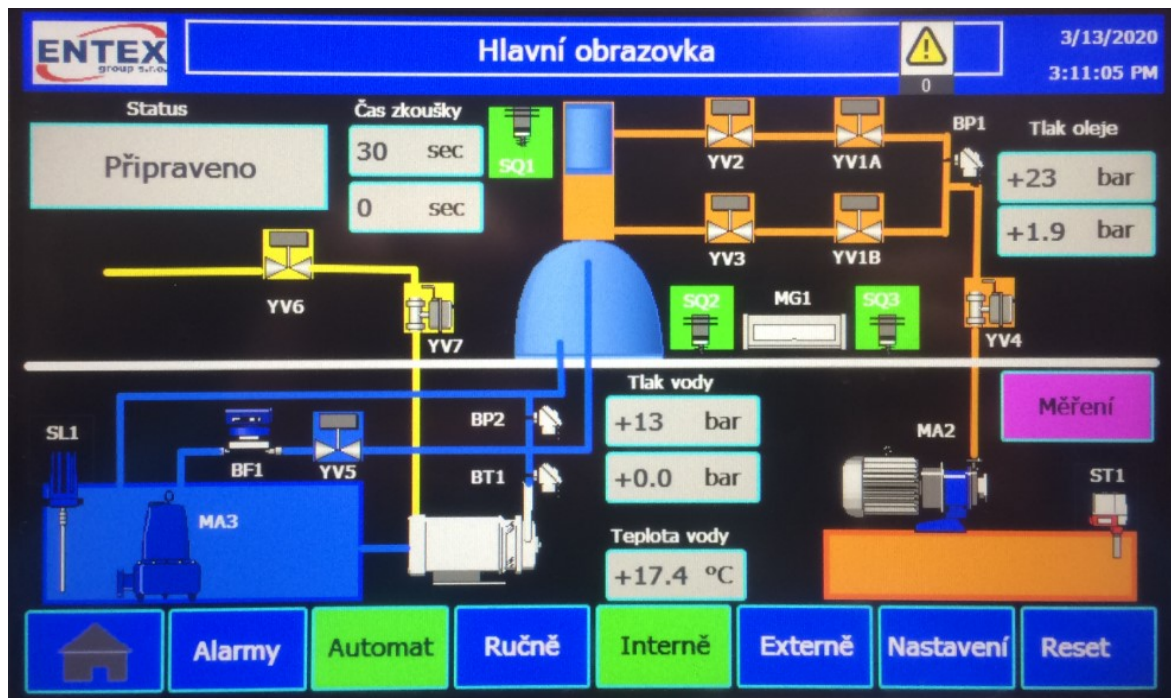
10.1 Popis funkce

10.1.1 Výchozí poloha

Následující popis a označení se odkazuje na přílohy C a D, tedy funkční schémata agregátů. Bližší popisy těchto spínačů jsem uvedl v příloze A, část „Motorová listina.“

Samotný zkušební cyklus byl řídicím systémem ošetřen tak, aby jej nebylo možné inicializovat, pokud není hydraulický válec ve výchozí poloze. To bylo zajištěno tak, že musí být sepnutý koncový spínač SQ1. Dále musí být sepnutý spínač ochranného krytu SQ2 a elektrický zámek dvířek pracovního prostoru ZK1 musí být uzamčen.

Pokud není hydraulický válec ve výchozí poloze po zapnutí hlavního spínače zařízení nebo při uzavření dvířek, řídicí systém automaticky spustí elektromotor MA1, otevřou se ventily YV2 a YV3 hydraulického zámku, přivede se napětí na cívku rozváděče YV1B a proporcionální redukční ventil YV4 se nastaví tlak 10 bar. Hydraulický válec se začne posouvat směrem vzhůru, dokud nesepe ne koncový spínač SQ1. Tímto se válec dostává do výchozí polohy a zařízení se tak stává připraveným pro zkušební cyklus.



Obr. č. 10.2 - Hlavní obrazovka ovládacího panelu ve výchozí poloze

10.1.2 Cyklus zkoušky

Po dosažení výchozí polohy hydraulického válce se odemykají dvířka pracovního prostoru zámkem ZK1. Poté, co obsluha vloží zkoušený díl a opětovně zavře ochranný kryt, zvolí podle zkoušeného dílu recepturu na ovládacím panelu a stiskne tlačítko „start,“ čímž započne zkušební cyklus.

Dojde k uzamčení dvířek zámkem ZK1 a spustí se motor MA1. Na cívce proporcionálního redukčního ventilu YV4 se nastaví hodnota tlaku podle zvolené receptury a sepnou ventily hydraulického zámku YV2 a YV3 (přivede se na ně napětí). Stejně tak se přivede napětí na cívku rozváděče YV1A a dojde k jeho přestavení, hydraulický válec se tedy začne pohybovat směrem dolů, dokud se neopře o zkoušený díl. Po opření válce o díl začne narůstat přítlačný tlak, který je snímán snímačem tlaku BP1. Jakmile tlak dosáhne na snímači BP1 požadované hodnoty dle nastavené receptury (nebo po uplynutí doby 40 s, pokud by nedošlo k opření o zkoušený díl), tuto hodnotu začne proporcionální ventil YV4 udržovat. Poté se odstaví řídicí napětí na ventily YV2 a YV3 a hydraulický zámek uzamkne hydraulický válec v požadovaném tlaku. Následně dojde k odepření napětí z cívky rozváděče YV1A a zastaví se elektromotor MA1.

Následně začne napouštění zkoušeného dílu tak, že se spustí ponorné vodní čerpadlo MA2 po dobu, než sepne a zůstane sepnutý nepřetržitě po dobu 4 *sekund* spínač BF1. Jakmile je tato podmínka splněna, přivede se napětí na pneumatický ventil YV5, který uzavře pneumatický jehlový ventil a dojde k vypnutí vodního čerpadla MA2. Následně se otevře řídicí ventil YV6 a začne se přivádět napětí na proporcionální pneumatický redukční ventil YV7 nastavený podle zkušební tlaku zvolené receptury (tento ventil přímo řídí vodní multiplikátor). Po dosažení požadovaného tlaku na tlakovém snímači BP2 se ventil YV6 uzavře a počítač začne skrze tlakový snímač BP2 zaznamenávat hodnotu tlaku po dobu zvolené receptury. Po uplynutí měřené doby počítač zaznamená hodnotu tlaku ze snímače BP2 po uzavření ventilu YV6 a po uplynutí zkušební doby.

Uzavře se ventil YV5, což způsobí dekompresi zkoušeného dílu, a tlakový snímač BP2 vyčká na pokles tlaku na hodnotu 0,2 *bar*. Po dosažení této hodnoty tlaku se otevřou se ventily hydraulického zámku YV2 a YV3, přestaví se rozváděč do polohy YV1B, na proporcionálním redukčním ventilu YV4 se nastaví otevření pro tlak 10 *bar* a zapne se elektromotor MA1. Hydraulický válec se tedy začne pohybovat směrem nahoru, dokud se nesepe koncový spínač SQ1. Po sepnutí tohoto spínače se zavřou ventily YV2 a YV3, přeruší se přívod napětí

do cívky YV1B a vypne se elektromotor MA1. V poslední řadě se odemkne elektrický zámek dvířek ochranného krytu ZK1. Obsluha smí otevřít ochranný kryt, vyjmout zkoušený díl a vložit nový. Cyklu se pak již opakuje.

Další postupy zkušebních cyklů a jejich nároky jsem popsal v příloze B.



Obr. č. 10.3 - Grafika ovládacího panelu při měření tlaků

10.2 Návrh výstupní tabulky

Pro zaznamenání výsledků bude řídicí jednotka zkušebního zařízení zapisovat do paměti naměřená data. Každý zápis bude obsahovat parametry receptury, tedy název receptury, přítlačný a zkušební tlak, dobu zkoušky, dále datum a výsledek zkoušky.

Výsledná tabulka tedy bude vypadat takto:

Tabulka 4 - Návrh tabulky výsledků zkušebních cyklů

Číslo zkoušky	Datum zkoušky	Receptura	Zkušební tlak	Přítlačný tlak	Čas zkoušky	Výsledek
1	3.5.2020	511 37 01	36 bar	18 bar	30 s	vyhovuje
2	4.3.2020	541 38 03	34 bar	12 bar	30 s	nevyhovuje
3	4.3.2020	591 39 04-08t	50 bar	30 bar	30 s	vyhovuje

K paměti řídicího PC se dá připojit pomocí rozhraní USB.

11 Závěr

Jak sám nadpis na titulní straně naznačuje, či jak jsem se zmínil již v úvodu, předmětem této práce byl návrh zkušebního zařízení pro nevýbušná svítidla, které by bylo schopno provést poloautomatický zkušební cyklus a zaznamenat jeho výsledek do počítače. Po zpracování rešerše obdobných zkušebních zařízení a bližší seznámení s typy zkoušených těles pro toto konkrétní zařízení bylo zadání upřesněno s přihlédnutím na praktické požadavky budoucího provozovatele tohoto zařízení. V konečném důsledku jsem pak v rámci těchto požadavků navrhnul plnohodnotné poloautomatické zkušební zařízení pro tlakové testování tří základných typů nevýbušných svítidel a jejich příslušných komponent, které se liší svým tvarem a velikostí. Zkušební stand jsem navrhl tak, aby obsluze tohoto zařízení stačilo umístit zkoušený díl do pracovního prostoru, stisknout tlačítko start a vyčkat na konec zkušebního cyklu a vypsání jeho výsledku. Při dimenzování pohonné části jsem vycházel z již minulých zkušeností provozovatele, který dodal požadované tlakové receptury, které obsahují informace o zkouškách každého typu svítidel. Pro univerzálnost zkušebního zařízení jsem navrhl možnosti přidávání či editaci zkušebních receptur přímo obsluhou zařízení. V neposlední řadě jsem vypracoval podklady a informace pro následující profese, jako je elektrické zapojení či zavedení softwaru pro řízení automatu.

Pohon celého zkušebního stendu je realizován pomocí hydraulického, vodního a pneumatického systému, které spolu navzájem kooperují. Hydraulický systém, vč. hydraulického agregátu jsem navrhl pro přitlak zkoušených dílů, následně vodní a pneumatický systém, pro jejich natlakování. Tyto tři pohonné systémy jsou doprovázeny množstvím spínačů, čidel a měřidel pro správný chod a možnost elektrického řízení, ale i bezpečnostních opatření.

Zařízení je dimenzováno pro provoz v prostředí výrobní haly a taky v teplotách takovéto hale odpovídajících. Konstrukce pak umožňuje obsluhu pouze jedním pracovníkem.

V přílohách diplomové práce pak uvádím zpracovanou projektovou listinu, funkční schémata všech tří pohonných systémů a v neposlední řadě také například návod na obsluhu zařízení pro jeho provoz v praxi. Navržené zařízení s projektovou dokumentací se tak stává plnohodnotným strojem připraveným zapojit se do své činnosti v praxi.

12 Použité zdroje a literatura

- (1) KRAUTWURST, Lukáš. Tlaková stolice pro zkoušení armatur [online]. Ostrava, 2014 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/r2yysr/?lang=en>. Diplomová práce. VŠB-TUO.
- (2) Katalog 2020-2021: Osvětlovací technika. *Elektrosvit Svatobořice a. s.: Tradiční výroba průmyslové osvětlovací techniky* [online]. 2020 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://elektrosvit.cz/wp-content/uploads/2020/02/Katalog-2020-2021.pdf>
- (3) Elektromotory Moravec s. r. o.: Siemens [online]. Hoštejn: Partner Media, 2011 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <http://www.elektromotory.net>
- (4) ČSN EN 12266-1. In: TZB-info: Technické normy [online]. Topinfo s.r.o, 2001, 2012 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/normy/csn-en-12266-1-2012-10>
- (5) KSK: Česká Třebová [online]. Hradec Králové: OMEGA, 2020 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.kskct.cz/cs/>
- (6) VENTIL [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://ventil.nl/>
- (7) TLAKOVÁ STOLICE. Valve Control: Automated valve solutions [online]. 2018 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.valve.cz/cti/68/tlakova-stolice/>
- (8) Zkušební stand - tlakovací agregát. PKS servis: Hydraulika na míru [online]. Ostrava: BZ Company Internacional, [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.pks-servis.cz/reference/zkusebni-stand-tlakovaci-agregat.html>
- (9) Co je ATEX? SIMONA: Global Thermoplastic Solutions [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.simona-cz.com/sluzby/atex/definice/co-je-atex/>
- (10) Ponorné čerpadlo HC32 - 0,75: Popis produktu. ALFAPUMPY [online]. -: Etro Jiří Houdek, [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <http://www.icerpadla.cz/ponorna-cerpadla/ponorne-cerpadlo-hc32-0-75-p-252398.html>
- (11) DRÁBKOVÁ, Sylva. Mechanika tekutin: učební text [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, [2008] [cit. 2020-05-04]. ISBN 978-80-248-1508-4. Dostupné z: <http://www.338.vsb.cz/wp-content/uploads/2016/03/Drabkova-Mechanikatekutin.pdf>

- (12) MAXIMATOR: Technical data sheet. In: MAXIMATOR: Maximum Pressure. [online]. fly-cms, 02/2005 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <http://www.maximator.de/assets/mime/-UTQ3ZXGXJnj6l0w3CTk5ciE7oqRfsuJ8tyeWAWil8zw1eEC,,jZLDhzN,YE8xg==/DB+01.01.02.10+Pump+M8.pdf>
- (13) Přesné redukční ventily: STRÁNSKÝ a PETRŽÍK [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.stranskyapetrzik.cz/pneu/uprava-vzduchu/uprava-vzduchu-mindman-menu2/uprava-vzduchu-mindman-mair/>
- (14) R+L Hydraulics: Reservoirs and accessories. R+L Hydraulics [online]. 2017 [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: https://www.rl-hydraulics.com/fileadmin/user_upload/pdf-dokumente/Produktkataloge/DE_EN/R_L_Beh%C3%A4lter_Zubeh%C3%B6r_0504_2017.pdf
- (15) HYDRONIT: Hydraulic Power Packs [online]. 2017 [cit. 2020-05-07]. PPC 2017-01/EN

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval Dr. Ing. Miroslavu Bovovi za pomoc při vedení diplomové práce, za věcné připomínky, a hlavně vstřícnost při konzultacích. Mé poděkování patří také zaměstnancům společnosti Interfluid s.r.o. za poskytnutí projekčních materiálů a osobních zkušeností, které mi pomohly dostat se do problematiky práce.

13 Seznam příloh

Příloha A	Projektová dokumentace
Příloha B	Návod na obsluhu
Příloha C	Funkční schéma hydraulického systému
Příloha D	Funkční schéma vodního a pneumatického systému
Příloha E	Výrobní dokumentace komponent hydraulického válce
Příloha F	Schéma konstrukčního řešení zkušebního stendu
Příloha G	Sestava svítidla Herkules